

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Návrh zavěšení předního kola soutěžního vozidla Škoda**

**Favorit sk. A**

**Design Front Suspension of Rally Car Škoda Favorit Gr. A**

Student:

Bc. Petr Sklenář

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jakub Šmirus

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Sklenář**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 20 Silniční doprava  
Téma: **Návrh zavěšení předního kola soutěžního vozidla Škoda Favorit sk. A**  
**Design Front Suspension of Rally Car Škoda Favorit Gr. A**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Popis vozidla a technická specifikace dle homologačního listu
3. Výpočet zatěžujících sil v zavěšení kola
4. Návrh konstrukce a výroby spodního ramene předního zavěšení kola
5. Pevnostní výpočet ramene a s ním souvisejících součástí
6. Celkové zhodnocení úprav, materiálová a finanční náročnost
7. Závěr

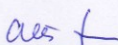
Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) Vlk, F.: Teorie a konstrukce motocyklu 1, Brno: Nakladatelství Vlk, 2004
- 2) Vlk, F.: Teorie a konstrukce motocyklu 2, Brno: Nakladatelství Vlk, 2004
- 3) Ždánský, B., Jan, Z.: Automobily 1., Brno: Avid s.r.o., 2000
- 4) MATĚJKA, R.: Vozidla silniční dopravy I. VŠDS Žilina, Alfa Bratislava, 1981

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Šmiraus**

Datum zadání: 13.12.2014  
Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

18.5.2015



.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

18.5.2015



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Petr Sklenář

Adresa trvalého pobytu autora práce: Loučany 730

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SKLENÁŘ, P. *Návrh zavěšení předního kola soutěžního vozidla Škoda Favorit sk. A: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2015, 67 s. Vedoucí práce: Šmiraus, J.

Náplní mé diplomové práce je návrh zavěšení předního kola soutěžního vozidla Škoda Favorit sk. A. Celá práce se dá rozdělit do několika základních částí. V úvodní teoretické části popisuji zmiňované vozidlo, jeho historii a především význam jednotlivých součástí přední nápravy. Dále se zabývám výpočtem zatěžujících sil v zavěšení kola. Další část je věnována návrhu konstrukce spodního ramene předního zavěšení. Pevnostní kontrola je provedena metodou konečných prvků, kde jsou vstupem právě vypočtené síly. V závěru práce je uvedeno celkové zhodnocení úprav, materiálová a finanční náročnost. Součástí příloh je kompletní výkresová dokumentace navrženého řešení a výstupy z pevnostní kontroly.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

SKLENÁŘ, P. *Design Front Suspension of Rally Car Škoda Favorit Gr. A: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2015, 67 p. Thesis head: Šmiraus, J.

This thesis focuses on a design of the Škoda Favorit Gr. A's front wheel suspension. The whole thesis is divided into several basic parts. In the introduction of the theoretical part, the mentioned vehicle is described, its history and, above all, the meaning of the particular parts of the front suspension. Further, the calculation of the load force in the wheel suspension is dealt with. The next part concentrates on a design of the lower suspension arm. The strength check is made using the finite element method, where the forces calculated are the input. In the last part of the thesis, the total evaluation of the adjustment is included, together with material and financial demands. The complete drawings of the designed solution are included in the enclosures, as are the outputs of the strength check.

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| Seznam použitých zkratk a symbolů .....                                  | 7  |
| 1 Úvod.....  | 9  |
| 2 Popis vozidla a technická specifikace dle homologačního listu .....    | 10 |
| 2.1 Popis továrního vozidla Škoda Favorit .....                          | 10 |
| 2.2 Popis soutěžního vozidla Škoda Favorit sk. A .....                   | 12 |
| 3 Výpočet zatěžujících sil v zavěšení kola .....                         | 21 |
| 3.1 Určení polohy těžiště vozidla .....                                  | 21 |
| 3.1.1 Měření hmotnostních parametrů vozidla .....                        | 21 |
| 3.2 Výpočet působících sil .....   | 27 |
| 3.2.1 Působení maximální brzdné síly .....                               | 27 |
| 3.2.2 Působení maximální boční síly .....                                | 29 |
| 3.3 Kammova kružnice.....  | 31 |
| 4 Návrh konstrukce a výroby spodního ramene předního zavěšení kola ..... | 33 |
| 4.1 Varianta A - úprava původního ramene vyztužením.....                 | 34 |
| 4.1.1 Návrh výroby vyztuženého ramena .....                              | 35 |
| 4.2 Varianta B - trubkové rameno .....                                   | 36 |
| 4.2.1 Návrh výroby trubkového ramena .....                               | 38 |
| 4.2.2 Uložení trubkového ramena.....                                     | 39 |
| 4.2.3 Návrh výroby součástí uložení .....                                | 40 |
| 5 Pevnostní výpočet ramene a s ním souvisejících součástí.....           | 41 |
| 5.1 Rozložení působících sil na rameno .....                             | 42 |
| 5.2 Kontrola původního ramena .....                                      | 43 |
| 5.3 Kontrola vyztuženého ramena.....                                     | 45 |
| 5.4 Kontrola trubkového ramena.....                                      | 48 |
| 5.4.1 Kontrola uložení trubkového ramena .....                           | 51 |
| 6 Celkové zhodnocení úprav, materiálová a finanční náročnost .....       | 54 |
| 7 Závěr .....  | 60 |
| 8 Seznam použitých pramenů .....   | 62 |
| 9 Seznam příloh .....  | 64 |

## Seznam použitých zkratek a symbolů

FISA (Federation Internationale du Sport Automobile) mezinárodní federace automobilového sportu

OHV (Over Head Valve) typ ventilového rozvodu

| <b>Značka</b> | <b>Veličina</b>                            | <b>Jednotka</b>      |
|---------------|--|----------------------|
| E             | Rozchod kol přední nápravy                 | [mm]                 |
| F             | Působící síla                              | [N]                  |
| $F_B$         | Brzdná síla                                | [N]                  |
| $F_{B1}$      | Brzdná síla na přední nápravě              | [N]                  |
| $F_{B1K}$     | Brzdná síla jednoho kola na přední nápravě | [N]                  |
| $F_{B2}$      | Brzdná síla na zadní nápravě               | [N]                  |
| $F_{Bmax}$    | Maximální brzdná síla                      | [N]                  |
| $F_K$         | Kombinace brzdné a boční síly              | [N]                  |
| $F_K$         | Kombinace brzdné a boční síly              | [N]                  |
| $F_{O1}$      | Odstředivá síla působící na přední nápravu | [N]                  |
| $F_S$         | Setrvačná síla                             | [N]                  |
| $F_Y$         | Boční síla                                 | [N]                  |
| $F_{Y1}'$     | Boční síla působící na vnitřní kolo        | [N]                  |
| $F_{Y1}''$    | Boční síla působící na vnější kolo         | [N]                  |
| $F_{Ymax}$    | Maximální boční síla                       | [N]                  |
| $F_{Z1}$      | Zatížení působící na přední nápravu        | [N]                  |
| $F_{Z1}'$     | Zatížení působící na vnitřní kolo          | [N]                  |
| $F_{Z1}''$    | Zatížení působící na vnější kolo           | [N]                  |
| $F_{Z2}$      | Zatížení působící na zadní nápravu         | [N]                  |
| g             | Gravitační zrychlení                       | [m·s <sup>-2</sup> ] |
| G             | Tíha vozidla                               | [N]                  |
| $G_1$         | Tíha vozidla připadající na přední nápravu | [N]                  |
| h             | Výška zvednutí přední nápravy              | [mm]                 |
| $h_t$         | Výšková poloha těžištěm                    | [mm]                 |
| $k_D$         | Koeficient dynamické bezpečnosti           | [-]                  |
| $k_S$         | Koeficient statické bezpečnosti            | [-]                  |
| L             | Rozvor náprav                              | [mm]                 |

|          |   |      |
|----------|---|------|
| $L_1$    | Vzdálenost těžiště od přední nápravy      | [mm] |
| $L_2$    | Vzdálenost těžiště od zadní nápravy       | [mm] |
| $M$      | Moment sil                                | [Nm] |
| $m_1$    | Hmotnost připadající na přední nápravu    | [kg] |
| $m_2$    | Hmotnost připadající na zadní nápravu     | [kg] |
| $m_c$    | Celková hmotnost vozidla                  | [kg] |
| $m_{lp}$ | Hmotnost připadající na levé přední kolo  | [kg] |
| $m_{lz}$ | Hmotnost připadající na levé zadní kolo   | [kg] |
| $m_{pp}$ | Hmotnost připadající na pravé přední kolo | [kg] |
| $m_{pz}$ | Hmotnost připadající na pravé zadní kolo  | [kg] |
| $r_k$    | Statický poloměr kola                     | [mm] |
| $\alpha$ | Úhel zvednutí přední nápravy              | [°]  |
| $\beta$  | Úhel působící síly na rameno              | [°]  |
| $\mu$    | Součinitel adheze kola                    | [-]  |



# 1 Úvod

Ve své diplomové práci se zabývám návrhem zavěšení předního kola soutěžního vozidla Škoda Favorit sk. A. Jedná se konkrétně o spodní kyvné rameno a spojovací součásti, které zabezpečí jeho správnou funkci. Můj návrh poté poslouží jako podklad pro závodního jezdce Michala Nedbala, který uskuteční realizaci zavěšení na svůj soutěžní vůz Škoda Favorit.

Originální zavěšení plně dostačuje v běžném silničním provozu, ale pro závodní využití vozidla je poměrně nevhodné. Je to dáno zvýšením výkonu, točivého momentu motoru a vyššími rychlostmi, kterých vozidlo na trati dosahuje. S tím je spojeno použití závodních pneumatik, které jsou schopny přenést větší zatížení. Také podvozek je značně upraven, aby vyhovoval náročné jízdě. Výsledkem jsou síly, vznikající mezi kolem a vozovkou, které jsou přenášeny právě kyvným ramenem do karoserie. Původní rameno není na tyto síly dimenzováno a tím dochází k jeho deformaci během kritických jízdních situací. Také uložení ramena v pryžokovových prvcích není ideální. V uložení vznikají pružné deformace. Ty se sčítají s deformací samotného ramena během jízdy. To má za následek zhoršení jízdních vlastností a ovladatelnosti vozidla. Tím vzniká potřeba nové konstrukce, která bude tyto nežádoucí vlivy eliminovat.

Protože se jedná o závodní vůz z devadesátých let, podklady pro stavbu ideální konstrukce nejsou k dispozici. V homologačním listu je pouze vyobrazen přibližný tvar v podobě trubkové konstrukce nebo upravení původního ramena. Není tedy přesně dán materiál, rozměry ani jiné parametry.

Mým úkolem je tedy návrh optimální konstrukce, která bude splňovat požadavky na snížení deformací a hmotnosti, zvýšení celkové pevnosti a tuhosti, snadnou výrobu a přijatelné výrobní náklady. Tento návrh bude také podložen pevnostní analýzou pomocí metody konečných prvků. Zároveň bude vytvořena výkresová dokumentace, sloužící jako podklad pro výrobu.

## **2 Popis vozidla a technická specifikace dle homologačního listu**

### **2.1 Popis továrního vozidla Škoda Favorit**

V roce 1988 došlo k významnému převratu ve výrobě osobních automobilů Škoda. Do té doby společnost Škoda vyráběla výhradně automobily s pohonem zadní nápravy a motorem vzadu. To se změnilo příchodem nového automobilu s továrním označením Škoda Favorit. Jednalo se o vůz s moderní koncepcí pohonu předních kol a motorem vpředu. Tento vůz se následně vyráběl v několika modifikacích a verzích.

O prvotním nápadu a potřebě nového automobilu se začalo hovořit roku 1983. Téhož roku vznikly první návrhy tvaru karoserie od designérské firmy Stile Bertone. Samotného návrhu se ujal Nuccio Bertone, který stál v čele společnosti. V prosinci roku 1984 byl uveden první prototyp. Mezi lety 1985-1986 probíhaly ověřovací a dlouhodobé zkoušky. V prvních měsících roku 1987 započala výroba testovací série a na brněnském strojírenském veletrhu byl již oficiálně představen nový automobil Škoda Favorit. Následující rok byla zahájena sériová výroba. Ta byla definitivně ukončena v roce 1995. Celkově bylo vyrobeno 783 167 kusů tohoto vozu. Nástupcem se stala Škoda Felicia.

Základ automobilu tvoří pětimístná samonosná karoserie se šikmou zádí. Ta je vyrobena z plechových výlisků. Vůz pohání kapalinou chlazený čtyřválcový motor o objemu 1289 cm<sup>3</sup>. Přenos hnací síly na přední kola je realizován pomocí mechanické, pětistupňové převodovky. Motor je uložen vpředu napříč. Přední náprava má zavěšení typu McPherson se spodními trojúhelníkovými rameny. Zadní náprava je pak kliková s vlečnými rameny. Pružicí soustava se skládá ze čtyř samostatných jednotek, které obsahují vinuté válcové pružiny a kapalinové teleskopické tlumiče. Řízení přední nápravy je hřebenové. Brzdová soustava je kapalinová s dvouokruhovým diagonálním propojením.



*Obr. 1 Škoda Favorit [9]*

*Tab. 1 Technické parametry sériového vozidla [3]*

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <b>Charakteristika motoru</b>      | zážehový, vodou chlazený řadový čtyřválec, rozvod OHV, uložený vpředu napříč, zápalná směs tvořená karburátorem |
| <b>Délka [mm]</b>                  | 3 815   |
| <b>Šířka [mm]</b>                  | 1 620   |
| <b>Výška [mm]</b>                  | 1 415   |
| <b>Rozvor náprav [mm]</b>          | 2 450   |
| <b>Rozchod přední nápravy [mm]</b> | 1 420   |
| <b>Rozchod zadní nápravy [mm]</b>  | 1 380   |
| <b>Pohotovostní hmotnost [kg]</b>  | 840   |
| <b>Celková hmotnost [kg]</b>       | 1 290   |

## 2.2 Popis soutěžního vozidla Škoda Favorit sk. A

Poprvé se soutěžní Favorit představil v roce 1988 na Rallye Šumava. V té době ještě nebyly splněny podmínky mezinárodní federace FISA a proto startoval mimo klasifikaci. Nezbytné podmínky pro homologaci byly splněny až následující rok. Dne 1. ledna 1989 vešel v platnost homologační list s označením A-5373, který ho opravňuje účastnit se soutěží skupiny A, což jsou závodní vozy. Homologační list přesně udává, jak by mělo vozidlo vypadat a jaké povolené úpravy smí majitel provádět. Dále jsou v něm uvedeny prvky, umožňující identifikaci vozidla. Homologaci vydává výrobce daného vozidla, přičemž se musí řídit platnými technickými předpisy mezinárodní automobilové federace. Na první pohled se soutěžní verze příliš neliší od sériového vozu. Ovšem při bližším zkoumání je vidět, že automobil prodělal několik zásadních změn. Především se to týká úprav podvozkové skupiny, motoru, převodovky, brzd a vnitřní výbavy.

*Tab. 2 Technické parametry soutěžního vozidla [7,8]*

|  |   |
|--|---|
| <b>Charakteristika motoru</b>                    | zážehový, vodou chlazený řadový čtyřválec, rozvod OHV, uložený vpředu napříč, zápalná směs tvořená karburátorem |
| <b>Vrtání [mm]</b>                               | 75,5  |
| <b>Zdvih [mm]</b>                                | 72  |
| <b>Maximální zdvihový objem [cm<sup>3</sup>]</b> | 1 299,6   |
| <b>Délka [mm]</b>                                | 3 815   |
| <b>Šířka [mm]</b>                                | 1 620   |
| <b>Rozvor náprav [mm]</b>                        | 2 450   |
| <b>Rozchod přední nápravy [mm]</b>               | 1 420   |
| <b>Minimální hmotnost [kg]</b>                   | 807,5   |

Pozn. Jelikož homologační list A-5373 neobsahuje všechny údaje potřebné k výpočtům a návrhům, jsou tyto údaje převzaty z homologačního listu N-5373 nebo z technických údajů sériového vozidla.



*Obr. 2 Škoda Favorit sk. A [10]*

## **Karoserie**

Karoserie je totožná jako u sériového vozu. Je tedy pětidvéřová typu hatchback. Skelet karoserie je vyroben z lisovaných ocelových plechů tloušťky 0,7-1,5 mm. Tato karoserie má na svoji dobu poměrně dobrou tuhost a k bezpečnosti přispívají i deformační zóny. Ovšem ve srovnání s dnešními vozidly zaostává. Závodní verze se liší pouze provedenými úpravami. Při sportovním využití vozidla se předpokládá zvýšené namáhání a může docházet ke vzniku prasklin. Toto namáhání je možné snížit použitím vzpěr mezi uložením tlumičů. Tím se zlepší torzní tuhost celé karoserie.

Protože se vozidlo a posádka během závodu dostávají na okraj svých možností, je zde velká pravděpodobnost havárie. A právě karoserie je jeden z ochranných prvků. Je vyztužena bezpečnostním rámem z chrom-molybdenových bezešvých trubek o průměru 38 mm a tloušťce stěny 1,5 mm. Rám je svařovaný a musí být pevně spojen s karoserií v místech uložení tlumičů a středových sloupků. Tento rám má hmotnost 22 kg. Dále předpisy říkají, že není povoleno užití plastických materiálů, určených k zasklení oken. Čalouněná výplň předních a zadních dveří musí být původní, přičemž se smí odstranit mechanismus stahování oken v zadních dveřích. Větrací střešní okno je povoleno.

## **Brzdy**

Značný nárůst výkonových parametrů vozidla sebou nese potřebu úprav brzdového systému. Jsou zde kladeny požadavky na vysokou účinnost, vysokou spolehlivost a rychlou a jednoduchou montáž či opravu. Zvýšení účinnosti se děje zvětšením třecích ploch a záměnou zadních bubnových brzd za kotoučové. Velký vliv má také materiál brzdových segmentů a účinný odvod tepla. Homologační list přesně popisuje možné úpravy brzdového systému. Závodní vozidlo musí být osazeno tandemovými brzdovými válci, s možností nastavení brzdného účinku mezi přední a zadní nápravou. Nesmí být ale použit posilovač brzdného účinku. Regulátor tlaku brzd s ručním ovládáním musí být umístěn na přístrojové desce. Klasická ruční brzda ovládaná lanovody, je zaměněna za hydraulické ovládání a musí být umístěna na středovém tunelu. Přední a zadní brzdové kotouče mohou být drážkované, příčně vrtané, nebo hladké a smějí být vnitřně chlazené. Rovněž je dovoleno použití čtyřpístkových třmenů s úpravou pro širší brzdové kotouče. Chlazení předních brzd může být realizováno odstraněním krytů mlhových světel z předních nárazníků, přičemž vzniklé otvory musí být zakryty mřížkou.

## **Motor**

Podmínkou pro úspěšný průběh závodu jsou nejen schopnosti posádky, ale i hlavně správně fungující vozidlo a zejména jeho motor. Upravená verze vychází ze základního čtyřválcového motoru Škoda řady 781.136. Léty prověřená konstrukce motoru dává mnoho možností zvyšování výkonu díky zkušenostem z předchozích let. Obdobný motor řady 742.136 byl totiž použit ve voze Škoda 130 LR. Tento vůz má za sebou slavnou závodní historii a úpravy se mnohdy neliší. Základ motoru tvoří blok z hliníkové slitiny, třikrát uložená kliková hřídel, písty, ojnice, osmikanálová hlava z hliníkové slitiny a rozvodový mechanismus typu OHV. Tento motor je kapalinou chlazený a k přenosu točivého momentu užívá suchou kotoučovou spojku.

Na motoru lze modifikovat následující komponenty:

- blok motoru
- kliková hřídel
- ojnice
- píst
- hlava válců

- vačková hřidel
- sací a výfukový systém
- elektronika

Homologační list dovoluje zvýšit zdvihový objem na 1299,6 cm<sup>3</sup>. Dále může být upraven kompresní poměr na hodnotu 10,4:1. Dalšími úpravami jsou změna časování rozvodu a zvětšení zdvihu sacích a výfukových ventilů. Hlavním přínosem je potom dvojitý spádový karburátor Pierburg 2E3.

### **Podvozek**

U závodního automobilu jsou na podvozek kladeny velké nároky. Zejména je důležitá výborná ovladatelnost vozidla při vysokých rychlostech. To je také jeden z předpokladů pro bezpečnou jízdu.

Úkolem podvozku a potažmo samotných náprav je přenášet síly, které působí na vozidlo a odpružit karoserii od vozovky. Přední náprava zajišťuje natáčení kol do rejdu, jejich vracení do přímého směru a také, aby se kola za každých podmínek odvalovala po vozovce bez smýkání. V našem případě musí přední náprava poskytovat možnost přenosu točivého momentu z převodovky na kola. Zadní náprava je kliková s vlečnými rameny, která mají kruhový průřez. Obě ramena jsou spojena U profilem, který plní funkci stabilizátoru. Celá zadní náprava je připojena ke karoserii přes pryžová pouzdra.

Důležitou funkci plní rovněž odpružení automobilu, které zajišťuje za každých podmínek dokonalý kontakt pneumatiky s vozovkou. Pokud pneumatiky při jízdě odskakují, nebo nemají dostatečný kontakt s vozovkou, zhoršuje se tím ovladatelnost, směrová stabilita a klesá efektivita brzdění. O odpružení se starají vinuté válcové pružiny a společně s kapalinovými tlumiči tvoří tzv. pružící jednotky.

### **Popis přední nápravy**

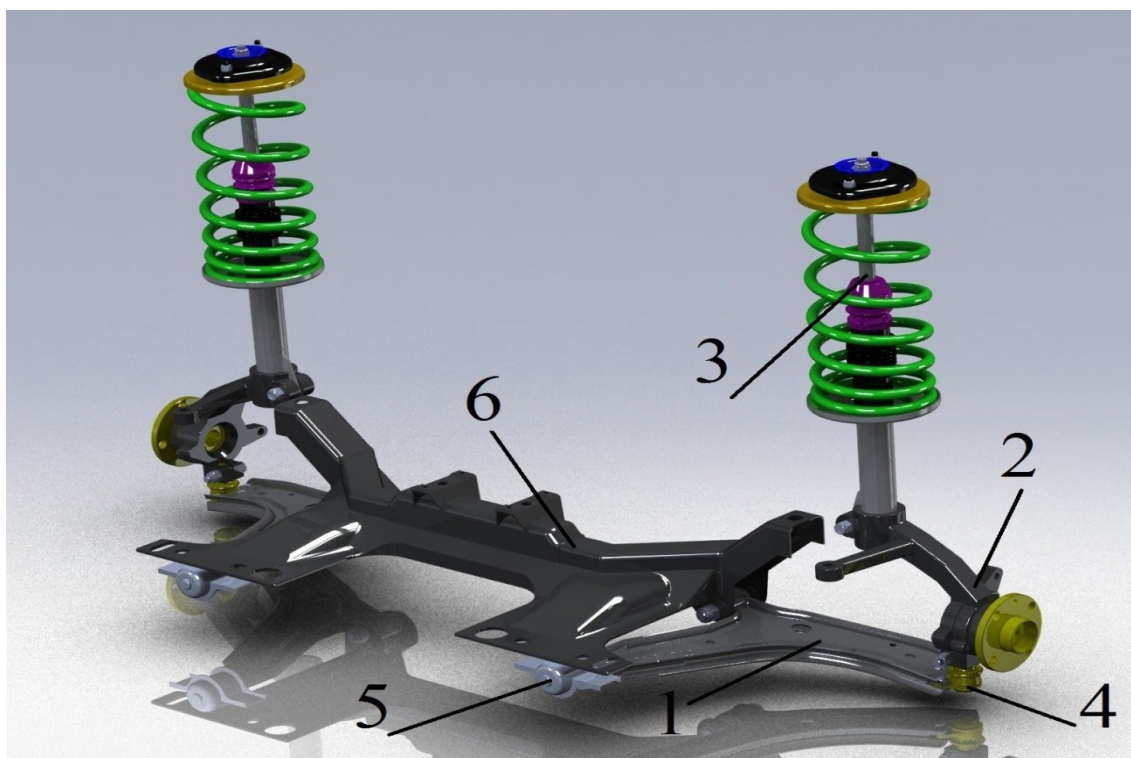
Přední náprava Favoritu je typu McPherson. Jedná se o zdokonalenou lichoběžníkovou nápravu, kde je horní rameno nahrazeno tlumičovou vzpěrou McPherson. Největší předností tohoto druhu nápravy je, že spojuje tři hlavní funkce do jednoho celku. A sice tlumení, pružení a natáčení hnacích kol. Tento typ nápravy je velmi oblíben pro svoji jednoduchou konstrukci a prostorovou nenáročnost.

### Hlavním účelem přední nápravy je:

- nést tíhu vozidla a přenášet ji přes kola na vozovku
- umožnit odpružení vozidla
- přenášet hnací, brzdné a boční síly
- umožňovat natáčení kol do rejdu

### Náprava se skládá z těchto částí:

1. kyvné rameno
2. těhlice
3. pružicí jednotka
4. kulový čep
5. silentbloky
6. nápravnice



Obr. 3 3D model přední nápravy [autor]



## Kyvná ramena

Hlavním úkolem kyvných ramen je spojovat nápravnici s těhlicí. Ramena jsou svařena z výlisků ocelového plechu a mají trojúhelníkový tvar. Tloušťka plechu je 2 mm. U strany kola je do ramene nanýtován kulový čep, který je spojen s těhlicí. Tento čep přenáší síly působící na kolo a umožňuje změnu úhlu ramene vůči těhlici při propnutí. Zároveň umožňuje natáčení kol do rejdu. V přední a zadní části ramene jsou nalisovány pryžokovové prvky, které spojují rameno s karoserií. Tyto pružné členy mají za úkol pohlcovat vibrace a rázy, které by se jinak přenášely do karoserie.



*Obr. 4 Kyvné rameno [autor]*

## Těhlice

Úkolem těhlice je spojovat náboj kola s kyvným ramenem zavěšení. To se děje přes kulový čep. Její další funkcí je natáčení kol do rejdu a také umožňuje přenos točivého momentu z převodovky na kola. Jedná se o ocelový výkovek, ve kterém je nalisováno ložisko s nábojem kola. Na tomto náboji je pevně uchycen brzdový kotouč a ráfek s pneumatikou. Na samotné těhlici je pak pevně uchycen brzdový třmen. Přenos točivého momentu je řešen hnací hřídelí, která má na konci homokinetický kloub. To umožňuje stálý přenos momentu bez ohledu na změnu úhlu natočení kola. Součástí těhlice je páka řízení, která je spojena s převodkou řízení přes řídicí tyče. Těhlice musí mít vysokou tuhost a pevnost. Snahou je dosažení co nejnižší hmotnosti, která se započítává do podílu neodpružených hmot kola.



*Obr. 5 Těhlice [autor]*

### **Pružící jednotka**

Celá pružící jednotka se skládá z vinuté válcové pružiny, přídavné progresivní polyuretanové pružiny a teleskopického tlumiče. Vinuté ocelové pružiny se spodní částí opírají o miskovité držáky přivařené k vnější trubce tlumiče. Pružící jednotka tvoří montážní celek a je součástí přední nápravy. Celek přední pružící jednotky je upevněn svou horní částí do karoserie. Ve spodní části je válcový plášť teleskopického tlumiče zasunut a pevně sevřen do těhlice. Celá pružící jednotka tvoří prakticky rejdrový čep. Aby se mohla volně otáčet, je v horní části axiální ložisko.



*Obr. 6 Pružící jednotka [autor]*

## Kulový čep a pružicí prvky

Kulový čep slouží k přenosu sil mezi jednotlivými součástmi podvozku. Využívá se tam, kde je nutno dosáhnout pevného spojení a zároveň změny úhlu mezi součástmi. Kulový čep je nerozebíratelný a má v sobě trvalou tukovou náplň. Celá součást se skládá z kovaného obalu a kulového prvku. Vůle je pak vymezena pouzdrem ze syntetických hmot. Aby bylo dosaženo vysoké pevnosti, je použita kvalitní ocel, která je dále zušlechťována.

Pružicí prvky neboli silentbloky jsou součásti, které se používají nejen u automobilů, ale u všech strojů, kde vznikají rázy a vibrace. U automobilu je můžeme nalézt v uložení náprav, motoru, převodovky apod. Jejich úkolem je pohlcování rázů, vibrací, snižují chvění a tlumí hluk. Díky použitému pryžovému materiálu dovolují také malou změnu polohy mezi spojenými součástmi. Toho je využito u přední nápravy, kdy dovolují změnu polohy kyvných ramen při propnutí.

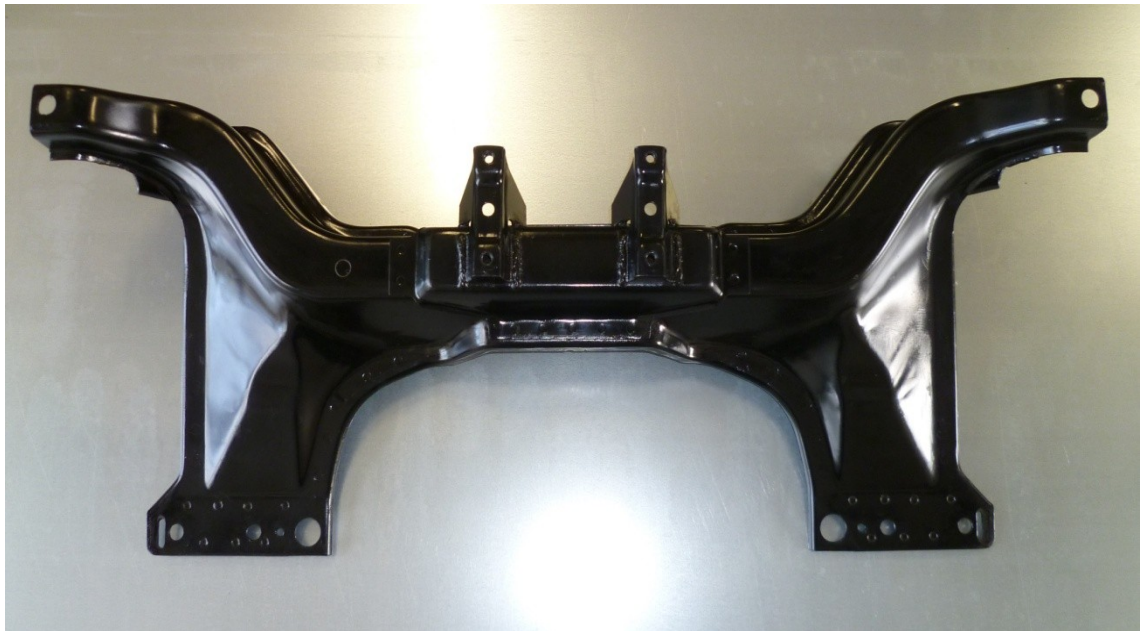


*Obr. 7 Kulový čep a silentbloky [autor]*



## Nápravnice

Nápravnice je nosný prvek přední nápravy, který je pevně spojen s karoserií. Jedná se o dutý svařenec, jehož základem je výlisek z ocelového plechu. K nápravnici jsou pomocí čtyř pryžokovových pouzder připevněna kyvná ramena a také převodka řízení.



*Obr. 8 Nápravnice [autor]*

### 3 Výpočet zatěžujících sil v zavěšení kola

Při výpočtu zatěžujících sil vycházím z předpokladu, že zatěžující síly se nacházejí v místě dotyku kola a vozovky a jsou následně přenášeny do zavěšení kola. Pro určení sil je nutné vycházet z jízdních stavů, ve kterých se automobil může nacházet. Těmito stavy jsou brzdění na mezi adheze, průjezd oblouku na mezi adheze, nebo kombinace obou zmíněných. Všechny vypočtené síly se budou následně vztahovat pro jedno konkrétní místo, kterým je kulový čep na vnějším konci ramene. Na toto místo budou při pevnostní analýze metodou konečných prvků umístěny vypočtené síly. Abych byl schopen provést výpočty, je nutné nejprve určit polohu těžiště vozidla.

#### 3.1 Určení polohy těžiště vozidla

Poloha těžiště vozidla se ve velké míře podílí na jízdních vlastnostech a ovlivňuje dynamické chování vozidla v určitých situacích. Těmito situacemi jsou akcelerace a brzdění vozidla, čímž posuzujeme podélnou stabilitu vozidla. Naopak při průjezdu obloukem posuzujeme příčnou stabilitu vozidla. Proto je nutné znát polohu těžiště vozidla, která do značné míry ovlivňuje výpočty zatěžujících sil a momentů působících na vozidlo. Rozlišujeme tři polohy těžiště. Podélnou, příčnou a výškovou polohu. Poloha v podélném a příčném směru zásadním způsobem ovlivňuje zatížení jednotlivých kol, nebo náprav vozidla. To se za určitých podmínek projeví na jízdních vlastnostech v podobě nedotáčivého, nebo přetáčivého smyku při průjezdu obloukem. Tato poloha také do jisté míry ovlivňuje chování vozidla při provozním brzdění.

Výška těžiště rovněž ovlivňuje stabilitu při průjezdu obloukem. Zde může dojít k překlolení vozidla vlivem odstředivé síly. Tento případ není nijak výjimečný. Za určitých podmínek může u některých vozidel dojít i k překlolení při jízdě do svahu nebo ze svahu.

##### 3.1.1 Měření hmotnostních parametrů vozidla

Jelikož jsem nemohl při měření hmotnostních parametrů použít přímo soutěžní vozidlo Škoda Favorit, prováděl jsem měření na sériově vyráběném vozidle. Zde je potřeba si uvědomit, že soutěžní Favorit má nižší hmotnost. Mnoho součástí je v souladu s homologačním listem upraveno, nahrazeno lehčími, nebo jsou z vozidla úplně odebrány. Povinná výbava zde ztrácí význam, palivová nádrž není zcela naplněna, interiér vozidla je z části odstraněn a karoserie je co možná nejvíce odlehčena.

Na druhou stranu je vozidlo povinně doplněno různými bezpečnostními prvky, které hmotnost navýší. Příkladem je ochranný rám o hmotnosti 22 kg. Díky těmto odlišnostem mezi soutěžním a sériovým vozidlem vzniká jistý rozdíl v poloze těžiště, zejména ve výšce těžiště. Ta bude u soutěžní verze nižší. Je to dáno snížením závodního podvozku a celkovým odlehčením vozidla. Zde přijímám předpoklad, že dopad na výsledné silové zatížení bude ve prospěch pevnosti konstrukce ramene, neboť za daných podmínek soutěžní vozidlo vypočtených sil nedosáhne.

Cílem měření je zjistit zatížení, které připadá na jednotlivá kola vozidla. K tomu jsem využil dvě cejchované digitální váhy s rozsahem 0-400 kg. Součet hmotností na pravém a levém kole téže nápravy je hmotnost připadající na danou nápravu. Součet hmotností přední a zadní nápravy následně dává hmotnost celého automobilu. Při měření seděli ve vozidle na místech řidiče a spolujezdce 2 osoby, každá o hmotnosti cca 85 kg a byli použity pneumatiky o rozměru 165/70 R-13. Pohotovostní hmotnost vozidla byla v době měření 845 kg. Základním předpokladem pro přesné měření je vodorovná podlaha a odbrzděná ruční brzda. Celkem jsem prováděl 2 měření. Nejprve jsem měřil vozidlo ve vodorovném stavu a následně se zvednutou přední nápravou o 34 cm vůči pomyslné podložce.

V následující části provádím výpočty pouze pro podélnou a výškovou polohu těžiště. Je to z toho důvodu, že naměřené hodnoty mezi pravými a levými stranami náprav se liší pouze nepatrně v jednotkách kilogramů. Je tedy možné přijmout předpoklad, že těžiště leží v podélné ose vozidla.

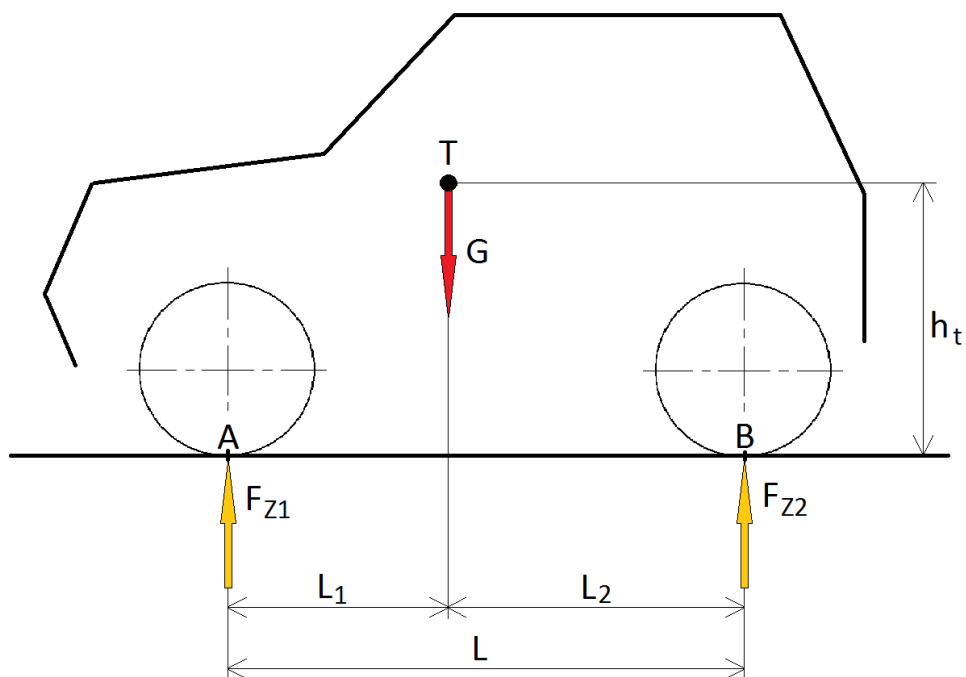


*Obr. 9 Měření hmotnostních parametrů vozidla [autor]*

### Výpočet těžiště

*Tab. 3 Rozložení hmotnosti ve vodorovném stavu [autor]*

| Zatížení: | Pohotovostní hmotnost vozidla + 2 osoby [kg] |
|-----------|--|
| $m_{PP}$  | 297  |
| $m_{LP}$  | 306  |
| $m_{PZ}$  | 207  |
| $m_{LZ}$  | 205  |
| Součet    | 1015   |



Obr. 10 Schéma zatížení ve vodorovném stavu [autor]

kde:

$G$  ... tíha vozidla [N]

$F_{Z1}$  ... zatížení připadající na přední nápravu [N]

$F_{Z2}$  ... zatížení připadající na zadní nápravu [N]

$h_t$  ... výšková poloha těžiště [mm]

$L_1$  ... vzdálenost těžiště od přední nápravy [mm]

$L_2$  ... vzdálenost těžiště od zadní nápravy [mm]

$L$  ... rozvor náprav [mm]

Hmotnost připadající na přední nápravu:

$$m_1 = m_{PP} + m_{LP} = 297 + 306 = 603 \text{ kg} \quad (3.1)$$

Hmotnost připadající na zadní nápravu:

$$m_2 = m_{PZ} + m_{LZ} = 207 + 205 = 412 \text{ kg} \quad (3.2)$$

Celková hmotnost vozidla:

$$m_C = m_1 + m_2 = 603 + 412 = 1015 \text{ kg} \quad (3.3)$$

Zatížení připadající na přední nápravu:

$$F_{Z1} = (m_{PP} + m_{LP}) \cdot g = (297 + 306) \cdot 9,81 = 5915,5 \text{ N} \quad (3.4)$$



Zatížení připadající na zadní nápravu:

$$F_{Z2} = (m_{PZ} + m_{LZ}) \cdot g = (207 + 205) \cdot 9,81 = 4041,7 \text{ N} \quad (3.5)$$

### Výpočet podélného těžiště vozidla

Pro rovnováhu sil platí vztah:

$$\sum F = 0 \quad (3.6)$$

$$G = F_{Z1} + F_{Z2} = 5915,5 + 4041,7 = 9957,2 \text{ N} \quad (3.7)$$

Rovnováha momentů vyjádřená k bodu B:

$$\sum M = 0 \quad (3.8)$$

$$F_{Z1} \cdot L - G \cdot L_2 = 0 \quad (3.9)$$

Vzdálenost těžiště od zadní nápravy vyjádřená ze vztahu (3.9)

$$L_2 = \frac{F_{Z1} \cdot L}{G} = \frac{5915,5 \cdot 2450}{9957,2} = 1455 \text{ mm} \quad (3.10)$$

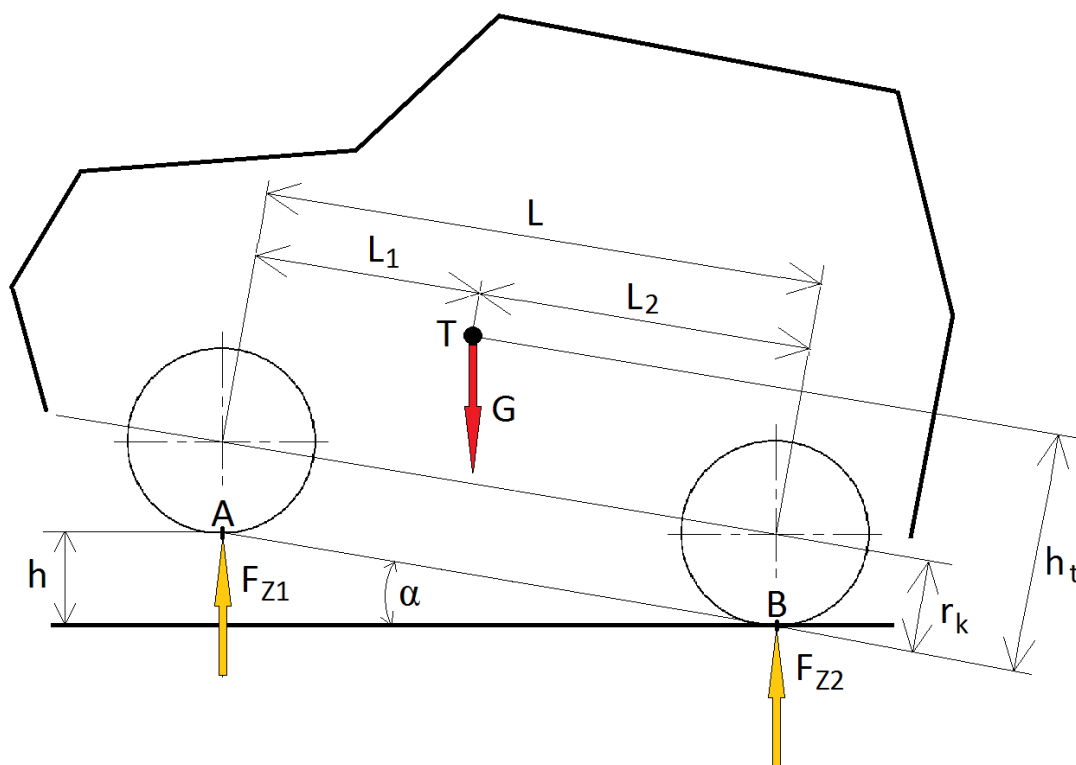
Vzdálenost těžiště od přední nápravy:

$$L_1 = L - L_2 = 2450 - 1455 = 995 \text{ mm} \quad (3.11)$$

### Výpočet výšky těžiště vozidla

*Tab. 4 Rozložení hmotnosti při zvednuté přední nápravě [autor]*

| Zatížení:             | Pohotovostní hmotnost + 2 osoby [kg] |
|-----------------------|--------------------------------------|
| <b>m<sub>PP</sub></b> | 289                                  |
| <b>m<sub>LP</sub></b> | 298                                  |
| <b>m<sub>PZ</sub></b> | 215                                  |
| <b>m<sub>LZ</sub></b> | 213                                  |
| <b>Součet</b>         | <b>1015</b>                          |



Obr. 11 Schéma zatížení při zvednuté přední nápravě [autor]

kde:

$\alpha$  ... úhel zvednutí přední nápravy [°]

$h$  ... výška zvednutí přední nápravy [mm]

$r_k$  ... statický poloměr kola [mm]

Hmotnost připadající na přední nápravu:

$$m_1 = m_{PP} + m_{LP} = 289 + 298 = 587 \text{ kg} \quad (3.12)$$

Hmotnost připadající na zadní nápravu:

$$m_2 = m_{PZ} + m_{LZ} = 215 + 213 = 428 \text{ kg} \quad (3.13)$$

Celková hmotnost vozidla:

$$m_c = m_1 + m_2 = 587 + 428 = 1015 \text{ kg} \quad (3.14)$$

Zatížení připadající na přední nápravu:

$$F_{Z1} = (m_{PP} + m_{LP}) \cdot g = (289 + 298) \cdot 9,81 = 5758,5 \text{ N} \quad (3.15)$$

Zatížení připadající na zadní nápravu:

$$F_{Z2} = (m_{PZ} + m_{LZ}) \cdot g = (215 + 213) \cdot 9,81 = 4198,7 \text{ N} \quad (3.16)$$

Výpočet úhlu zvednutí přední nápravy:

$$\alpha = \arcsin \frac{h}{L} = \arcsin \frac{340}{2450} = 7,98^\circ \quad (3.17)$$

Rovnováha momentů vyjádřená k bodu A:

$$\sum M = 0 \quad (3.18)$$

$$F_{z2} \cdot L \cdot \cos \alpha - G \cdot [L_1 \cdot \cos \alpha + (h_t - r_k) \cdot \sin \alpha] = 0 \quad (3.19)$$

Po úpravě dostaneme výsledný vztah pro výšku těžiště:

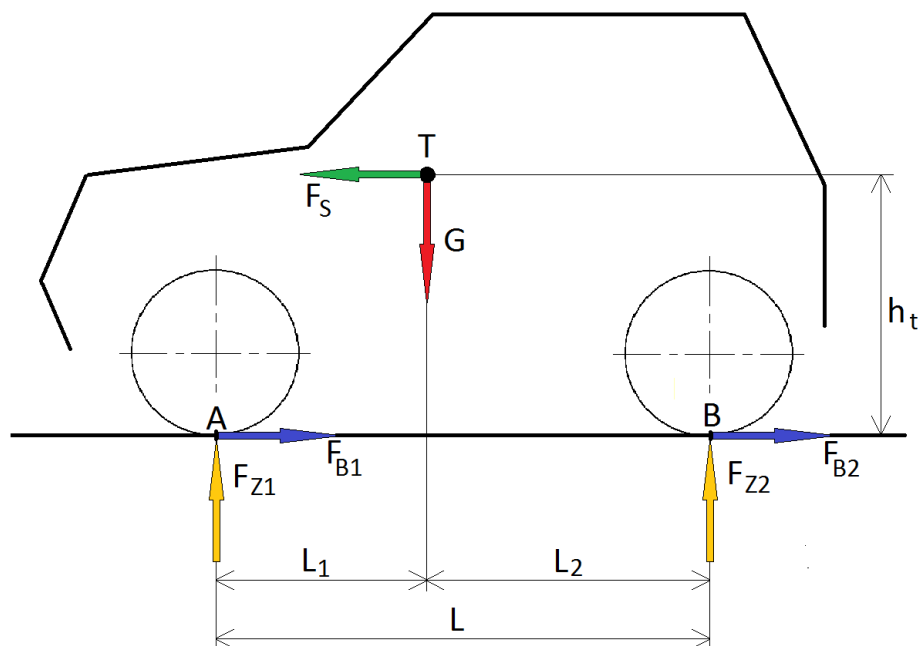
$$h_t = \frac{F_{z2} \cdot L - G \cdot L_1}{G \cdot \operatorname{tg} \alpha} + r_k = \frac{4198,7 \cdot 2450 - 9957,2 \cdot 995}{9957,2 \cdot \operatorname{tg} 7,98} + 265 = 537 \text{ mm} \quad (3.20)$$

## 3.2 Výpočet působících sil

Po dohodě s vedoucím práce budou zohledněny pouze 2 jízdní stavy - brzdění a průjezd směrovým obloukem. Z pohledu kritického zatížení je rozhodující maximální brzdná síla a maximální boční síla. Při těchto stavech dochází k největšímu namáhání a deformacím ramene. Dále je možné uvažovat podélnou sílu při rozjezdu vozidla. V porovnání s brzdou silou vozidla by ovšem tato síla nedosahovala kritických hodnot.

### 3.2.1 Působení maximální brzdné síly

Tímto stavem rozumíme brzdění při přímé jízdě vozidla, kdy na vozidlo nepůsobí žádná odstředivá síla. V našem případě k tomu může docházet při potřebě náhlého snížení rychlosti před průjezdem zatáčkou, zpomalovacím retardérem apod. Při prudkém brzdění je zadní náprava odlehčena a naopak přední náprava je přitěžována rozdílem těchto sil. Na vozidlo působí setrvačná síla dána hmotností vozidla. Zjednodušeně lze tedy říct, že na velikost brzdné síly má vliv hmotnost vozidla a výška těžiště. Proto je žádoucí dosáhnout co možná nejnížší hmotnosti a nejnížší polohy těžiště. V našem případě je výpočet prováděn pro uvažovanou přední nápravu.



Obr. 12 Schematické znázornění působících sil při brzdění [autor]

kde:

$F_S$  ... setrvačná síla [N]

$F_{B1}$  ... brzdná síla na přední nápravě [N]

$F_{B2}$  ... brzdná síla na zadní nápravě [N]

Výpočet setrvačné síly:

$$F_S = m_c \cdot g \cdot \mu = 1015 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 8961,4 \text{ N} \quad (3.21)$$

kde:

$\mu$  ... součinitel adheze kola [–]

Součinitel adheze  $\mu$  volím s ohledem na závodní využití vozidla s vysoce přilnavými pneumatikami. Hodnota tohoto součinitele odpovídá stavu, kdy vozidlo jede po suchém asfaltu. Tím je zohledněn stav, při kterém dochází k největšímu zatížení náprav. Je uvažována stejná hodnota  $\mu$  v podélném i příčném směru pneumatiky.

Rovnováha momentů k bodu B:

$$F_{Z1} \cdot L - G \cdot L_2 - F_S \cdot h_t = 0 \quad (3.22)$$

Zatěžující síla na přední nápravě vyjádřená ze vztahu (3.22):

$$F_{Z1} = \frac{G \cdot L_2 + F_S \cdot h_t}{L} = \frac{9957,2 \cdot 1455 + 8961,4 \cdot 537}{2450} = 7877,6 \text{ N} \quad (3.23)$$

Brzdná síla působící na přední nápravu:

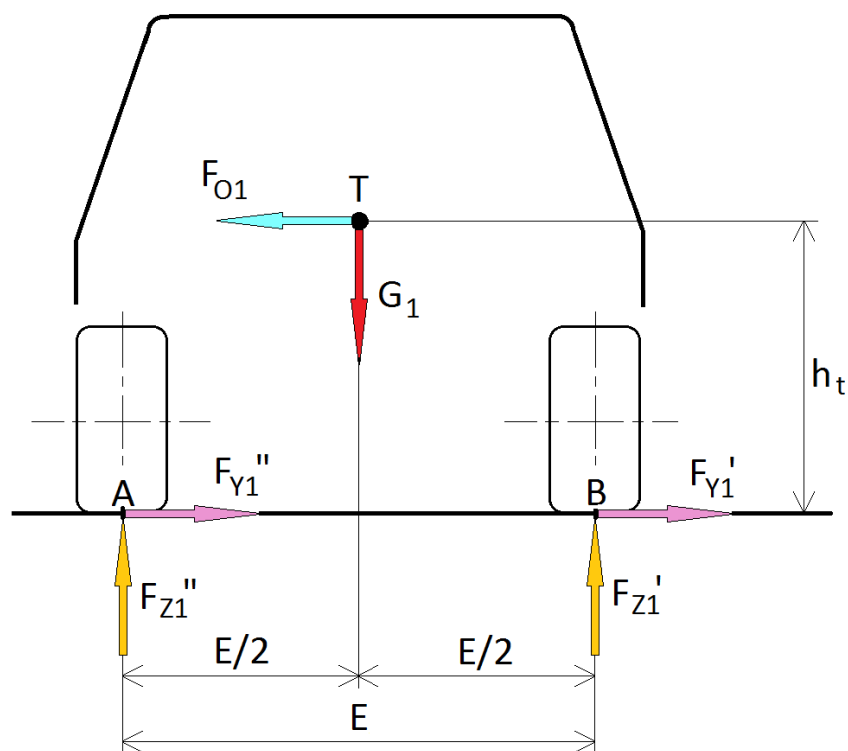
$$F_{B1} = F_{Z1} \cdot \mu = 7877,6 \cdot 0,9 = 7089,8 \text{ N} \quad (3.24)$$

Brzdná síla působící na jedno kolo přední nápravy:

$$F_{B1K} = \frac{F_{B1}}{2} = \frac{7089,8}{2} = 3544,9 \text{ N} \quad (3.25)$$

### 3.2.2 Působení maximální boční síly

K tomuto působení dochází při průjezdu vozidla směrovým obloukem. Zde také dochází k největšímu namáhání nejen od vlastní hmotnosti, ale i od odstředivé síly, která má snahu překloupit vozidlo kolem vnějšího kola. Úkolem je zjistit velikost síly, při které dojde ke smyku, nebo překloupení, přičemž rozhodující je ta síla o menší velikosti. V našem případě je výpočet prováděn pro uvažovanou přední nápravu.



Obr. 13 Schematické znázornění působících sil při průjezdu pravotočivým obloukem [autor]

kde:

$G_1$  ... tíha vozidla pripadajúcej na prednú nápravu [N]

$F_{O1}$  ... odstredivá sila pôsobiaci na prednú nápravu [N]

$F''_{Z1}$  ... zaťaženie pôsobiaci na vonjšie kolo [N]

$F'_{Z1}$  ... zaťaženie pôsobiaci na vnútorné kolo [N]

$F''_{Y1}$  ... bočná sila zaťažujúci vonjšie kolo [N]

$F'_{Y1}$  ... bočná sila zaťažujúci vnútorné kolo [N]

$E$  ... rozchod kol prednej nápravy [mm]

Výpočet odstredivej sily na prednej náprave pri prújezdu obloukom:

Riziko smyku:

$$F_{O1} \leq G_1 \cdot \mu \leq 5915,5 \cdot 0,9 \leq 5324 \text{ N} \quad (3.26)$$

Riziko preklopení:

$$F_{O1} \cdot h_t \leq G_1 \cdot \frac{E}{2} \quad (3.27)$$

$$F_{O1} \leq \frac{G_1 \cdot E}{2 \cdot h_t} \leq \frac{5915,5 \cdot 1420}{2 \cdot 537} \leq 7821,2 \text{ N} \quad (3.28)$$

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že nejdříve dojde ke smyku přední nápravy a to při odstředivé síle 5324N. K překlopení nemůže za normálních podmínek dojít, neboť odstředivá síla nedosáhne hodnoty 7821,2N.

Rovnováha momentů k bodu B:

$$F''_{Z1} \cdot E - G_1 \cdot \frac{E}{2} - F_{O1} \cdot h_t = 0 \quad (3.29)$$

Síla  $F''_{Z1}$  zatěžující vonjšie kolo vyjádřená ze vztahu (3.29):

$$F''_{Z1} = \frac{G_1 \cdot E + F_{O1} \cdot h_t}{2 \cdot E} = \frac{5915,5 \cdot 1420 + 5324 \cdot 537}{2 \cdot 1420} = 3964,4 \text{ N} \quad (3.30)$$

Síla  $F'_{Z1}$  zatěžující vnútorné kolo:

$$F'_{Z1} = G_1 - F''_{Z1} = 5915,5 - 3964,4 = 1951,1 \text{ N} \quad (3.31)$$

Bočná sila zaťažujúci vonjšie kolo:

$$F''_{Y1} = F''_{Z1} \cdot \mu = 3964,4 \cdot 0,9 = 3568 \text{ N} \quad (3.32)$$

Boční síla zatěžující vnitřní kolo:

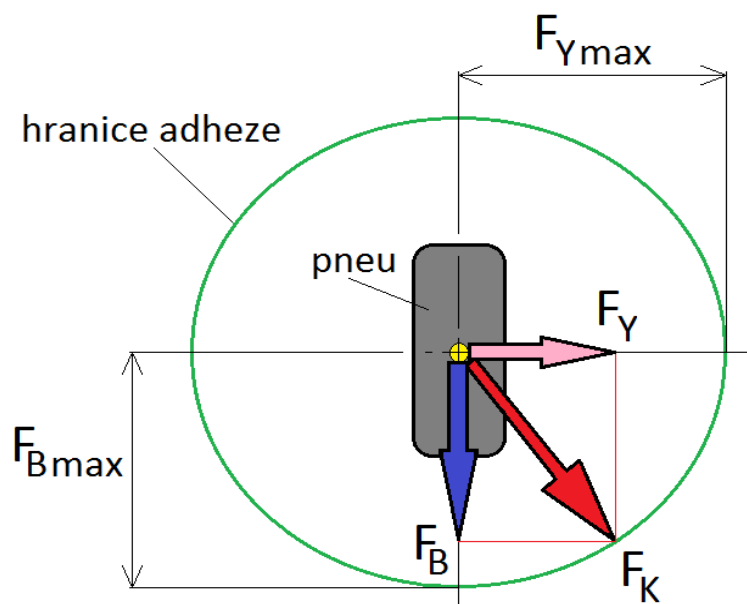
$$F'_{Y1} = F'_{Z1} \cdot \mu = 1951,1 \cdot 0,9 = 1756 \text{ N} \quad (3.33)$$

Z vypočtených hodnot je vidět, že největší síla vzniká při brzdění a při průjezdu směrovým obloukem na vnějším kole. Tyto dvě síly budou následně použity při pevnostní kontrole. Boční síla na vnitřním kole při průjezdu směrovým obloukem bude vzhledem ke své velikosti zanedbána.

### 3.3 Kammova kružnice

V předchozí části byly vypočteny zatěžující síly, které působí na zavěšení pouze v situaci, kdy vozidlo brzdí, nebo projíždí směrovým obloukem. Ve skutečnosti ale dochází také k situaci, kdy vozidlo brzdí během průjezdu obloukem. V tom případě se poměr mezi boční a brzdou silou mění. Toto lze znázornit pomocí Kammovy kružnice. Ta zohledňuje adhezní podmínky, které mohou nastat. Ve skutečnosti má Kammova kružnice tvar elipsy. Je to způsobeno rozdílnou velikostí součinitele adheze v podélném a příčném směru pneumatiky.  $F_{B\max}$  představuje maximální brzdou sílu, kterou je pneumatika schopna přenést v podélném směru a  $F_{Y\max}$  je maximální boční síla, kterou pneumatika přenesou v příčném směru.  $F_K$  je výslednice sil  $F_B$  a  $F_Y$ . Jedná se tedy o jejich kombinaci. Z obrázku je patrné, že pokud výslednice sil překročí hranici adheze Kammovy kružnice, dochází k zablokování kola. V našem případě se jedná o přední řídící nápravu a vozidlo se tak stává neovladatelné. To znamená, že pokud brzdou síla dosáhne svého maxima, není pneumatika schopna přenést už žádnou boční sílu. Zjednodušeně lze tedy říct, že pneumatika není schopna přenést maximální brzdou a maximální boční sílu zároveň, ale pouze jejich část. To vždy tak, aby jejich výslednice nepřesáhla hranici Kammovy kružnice.

Z vypočtených sil je vidět, že rozdíl mezi boční a brzdou silou lze zanedbat. Proto bude při pevnostní kontrole na kombinaci boční a brzdé síly uvažována větší z nich. Tato síla bude označena jako  $F_K$  s hodnotou 3568 N.



Obr. 14 Kammova kružnice [autor]

#### Tabulka výsledných hodnot

V následující tabulce jsou uvedeny velikosti jednotlivých sil, které budou použity při pevnostní kontrole ramen a ostatních součástí, které jsou navrhovány.

Tab. 5 Velikost výsledných sil [autor]

| Jízdní stav  | Velikost |
|--|----------|
| Maximální brzdná síla na jedno kolo $F_{B1K}$ [N]  | 3544,9   |
| Maximální boční síla na vnější kolo $F''_{Y1}$ [N] | 3568     |
| Kombinace boční a brzdné síly $F_K$ [N]            | 3568     |



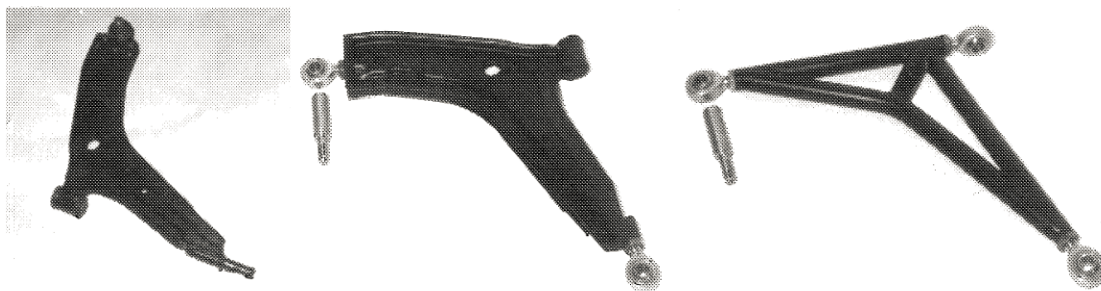
## 4 Návrh konstrukce a výroby spodního ramene předního zavěšení kola

V této části navrhuji několik variant, které jsou více či méně vhodné alternativy namísto původního ramena.

Základními požadavky na mnou navržené rameno jsou:

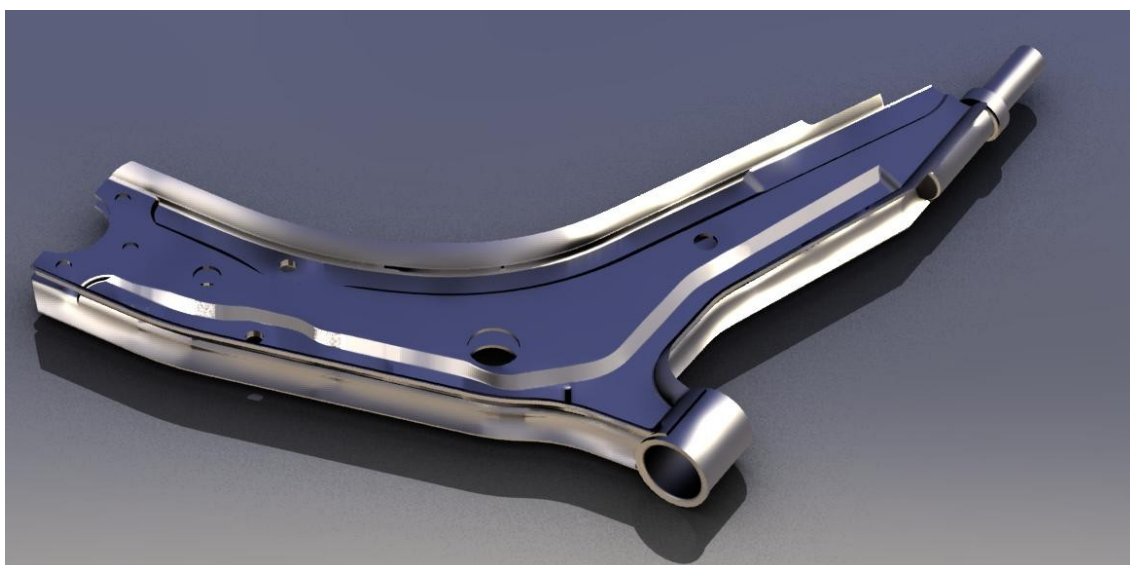
- dosažení co nejnižších deformací
- dosažení co nejnižší hmotnosti
- zvýšení tuhosti a pevnosti
- snadná výroba a montáž
- přijatelné výrobní náklady

Homologační list dovoluje použití celkem tří typů kyvných ramen. Prvním typem je originální rameno, které je po obvodu zesíleno. Jinak zachovává veškeré uložení i rozměry, takže není možné žádné nastavení. Tato varianta je nenáročná na úpravu, ovšem výsledek nebude zcela vyhovující, neboť dojde k navýšení hmotnosti. Dalším typem je opět originální rameno. Zde ale úprava spočívá ve změně dvou uložení ramene. Zadní silentblok a kulový čep jsou nahrazeny klouby unibal. Tato varianta se mi nejvíce jeví jako vhodná. Nastane sice velké zlepšení v podobě snížení deformací v uložení a je zde možné provádět nastavení geometrie. Ovšem pořád zde chybí potřebné zvýšení pevnosti a také snížení hmotnosti. Další možností je zcela odlišná stavba v podobě trubkové konstrukce. U této varianty se dá předpokládat výrazné zlepšení všech požadovaných vlastností. Velice záleží na použitém materiálu a vhodném rozložení tvaru. Uložení je zde řešeno pomocí třech kloubů unibal. To zaručuje požadovanou tuhost s nízkými deformacemi a měnitelnou geometrii přední nápravy. Výše zmíněné varianty jsou zobrazeny na obr. 15.



*Obr. 15 Možné varianty zavěšení dle homologačního listu [7]*

Jako první jsem vytvořil přesný 3D model, ze kterého jsem následně vycházel nejen při návrhu konstrukce, ale i při pevnostní kontrole. K tomu jsem využil nové originální rameno. Tím jsem vyloučil případné poškození a deformaci, která by mohla vést k nepřesným výsledkům. Jelikož se jedná o svařenec ze dvou zrcadlově otočených výlisků plechu, není tím určena přesná pozice umístění na vozidle a lze tedy rameno použít pro levé i pravé kolo. Hmotnost samotného nového ramene bez kulového čepu a silentbloků je 2290 gramů. Po dohodě s vedoucím práce byl zvolen materiál S 235JR.



*Obr. 16 3D model původního ramene [autor]*

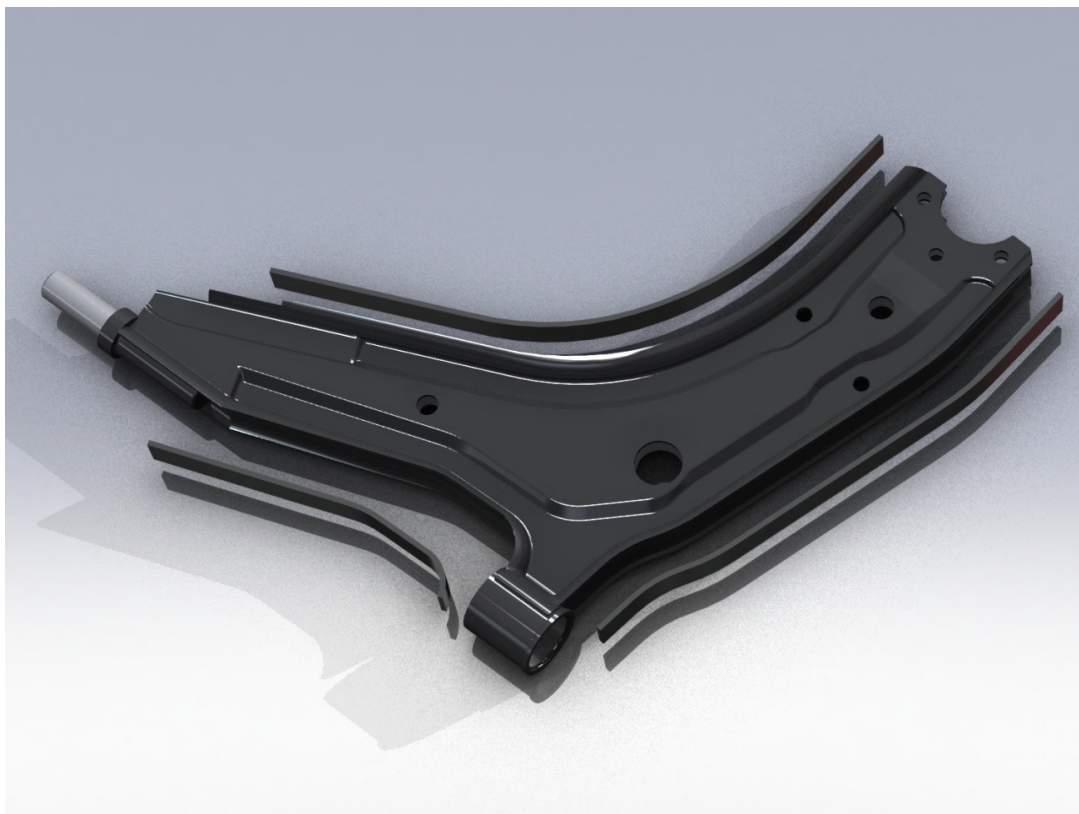
#### **4.1 Varianta A - úprava původního ramene vyztužením**

Jednou z možných variant je úprava stávajícího ramene. Pro běžný provoz je rameno dostatečně pevné i tuhé, ale při sportovním využití může docházet k nadměrným deformacím. Toto lze eliminovat použitím výztuh z ocelového plechu, které jsou přivařeny po obvodu. Tato varianta spočívá v úpravě 3D modelu, kde jsem po obvodu doplnil výztuhy z 3mm silného plechového pásu. Nevýhodou této varianty je

nemožnost dosažení nižší hmotnosti, což je dáno charakterem úpravy. Použitím výztuh se hmotnost navýší o 400 gramů, takže hmotnost celého ramena je pak 2690 gramů. Tím dojde ke zvýšení podílu neodpružených hmot automobilu. Další podstatnou nevýhodou je nemožnost nastavení parametrů geometrie přední nápravy. Těmito parametry jsou příklon a záklon rejdového čepu. Obojí má vliv na navracení kol do přímého směru jízdy, stabilizaci řízení a snížení potřebné síly na volant. U této varianty není třeba žádných dalších úprav, spojení s těhlicí a nápravnicí je totožné, jako u sériového vozidla. Dají se ale použít tvrdší silentbloky, které sníží deformaci v uložení ramene.

#### **4.1.1 Návrh výroby vyztuženého ramena**

Zde je úprava poměrně jednoduchá. Spočívá v přivaření výztužných plechů, které jsou ze stejného materiálu jako rameno. Nejprve je třeba si připravit 3 plechy podle výrobního výkresu. Abychom se vyhnuli poškození silentbloků a kulového čepu vlivem vysoké teploty okolního materiálu při svařování, je třeba tyto díly demontovat. Dalším krokem je slícování na přesný tvar ramena a u každého plechu se provede několik bodových svarů. Je to z toho důvodu, aby při svařování nedošlo ke vzniku pnutí a následného zkroucení ramena. Po nabodování všech plechů se provede doplňkový svar po celém obvodu výztužných plechů. Po dokončení svařování se rameno nechá volně vychladnout a poté se opatří ochranným nátěrem. Jako vhodná svařovací metoda se nabízí metoda MAG 135, což je obloukové svařování v ochranné atmosféře, nebo je také vhodná metoda TIG 141, tedy svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu. Výrobní výkres výztuh je uveden v přílohách.



*Obr. 17 Rozložení výztužných plechů [autor]*

## **4.2 Varianta B - trubkové rameno**

Při návrhu trubkového ramena jsem vycházel ze základních rozměrů původního lisovaného ramene. Tím jsou zachovány veškeré parametry geometrie přední nápravy. Jako materiál jsem zvolil chrom-molybdenovou ocel 25CrMo4, která má velice příznivé vlastnosti. Základem konstrukce jsou bezešvé trubky o rozměru 30x2mm. Také je nutné použít vložky s vnitřním závitem, do kterých bude zašroubována kloubová hlavice (unibal). Tato varianta již neumožňuje použití klasického kulového čepu a pryžokovových tlumících prvků. Ty jsou nahrazeny právě třemi kloubovými hlavicemi. Ke spojení ramena s těhlicí s nápravnicí je nutno použít speciální uložení. Klouby unibal jsou zvoleny z katalogu firmy ATS Trutnov. Jsou určeny pro nejnáročnější provoz a pro aplikaci v motorsportu.

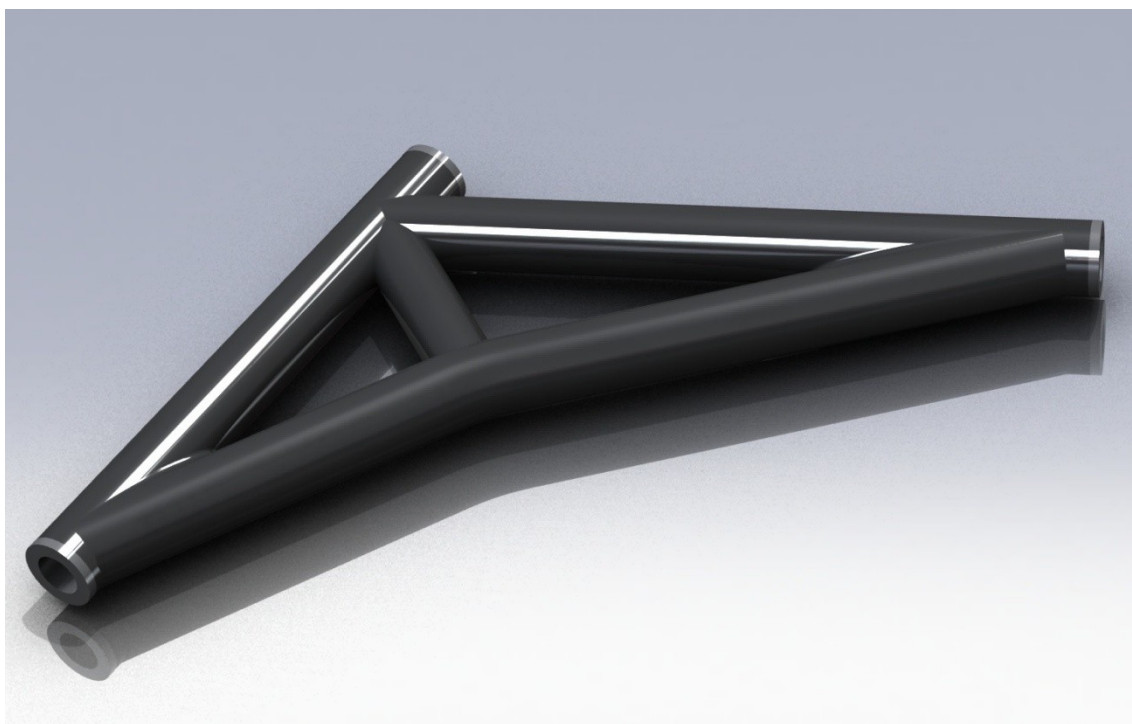
Volím klouby s těmito parametry:

*Tab. 6 Parametry zvoleného kloubu unibal [13]*

| Název                  | Parametr |
|------------------------|----------|
| Průměr oka [mm]        | 18       |
| Úhel náklonu [°]       | 15       |
| Závit                  | M18x1,5  |
| Statická pevnost [kN]  | 81,5     |
| Dynamická pevnost [kN] | 64       |

Zde je ovšem využita již zmíněná výhoda nastavení geometrie nápravy. To lze učinit nastavením kloubů, které se dají snadno zašroubovat, nebo naopak vyšroubovat a tím měnit rozteče mezi klouby. Další výhoda kloubů unibal je v dokonalé tuhosti, kdy při průjezdu zatáčkou, nebo brzdění, nedochází k pružným deformacím jako u silentbloků. Tím je zachována geometrie přední nápravy a stabilita vozidla v mezních situacích.

Aby bylo dosaženo co největší tuhosti, je tvar uzpůsoben tak, aby při plném vytočení kol byl dostatek místa mezi pneumatikou a ramenem. Hmotnost samotného trubkového ramena je 1655 gramů.



*Obr. 18 Trubkové rameno [autor]*

#### 4.2.1 Návrh výroby trubkového ramena

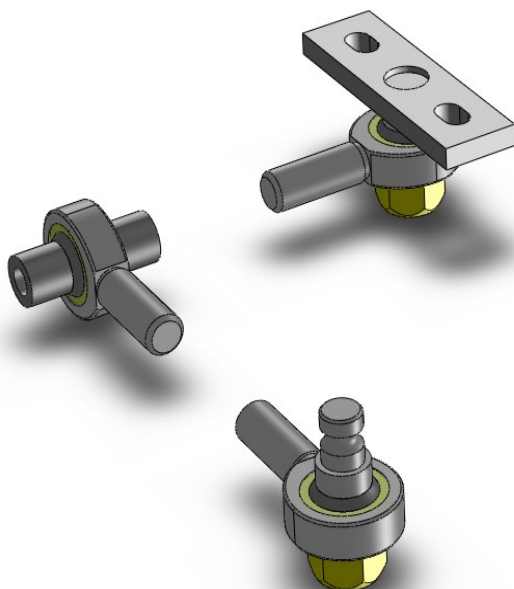
V tomto případě je výroba náročnější, protože kromě základních rozměrů pro uložení zde není již žádný společný prvek. Především je třeba dbát přesnosti při přípravných pracích a věnovat velkou pozornost samotnému svařování. Nejprve je třeba obstarat potřebný materiál. V tomto případě se bude jednat o bezešvé trubky z chrom-molybdenové oceli s označením 25CrMo4. Tyto trubky se vyrábí pouze v několika tloušťkách stěny. Zde je to tloušťka 2mm. Přípravné práce zahrnují zařezání trubek na stanovené rozměry, ohyb příslušných trubek a následné frézování pod stanoveným úhlem. Je také potřeba vytvořit potřebný úkos pro V svar. Dále se jedná o soustružení vložek a řezání závitu M 18x1,5 pro kloubová ložiska unibal. Ty jsou z kruhových válcovaných tyčí opět z materiálu 25CrMo4. Nejprve je nutné zavařit vložky do příslušných trubek. Pro pevné a spolehlivé spojení jsou trubky opatřeny drážkami, které se musí společně s vložkou vyvařit a zabrousit. Teprve potom je možné přistoupit ke svařování samotných trubek. Po slícování na přesný tvar ramena se u každého spoje provede několik bodových svarů. Je to z toho důvodu, aby při svařování nedošlo ke vzniku pnutí a následného zkroucení ramena. Je také možné použít vhodný přípravek, který zajistí stálou polohu trubek. Po nabodování je třeba provést obvodový svar v každém spoji. Ke svařování je nejvhodnější metoda TIG 141, neboť tato metoda zajišťuje precizní průvar kořene svaru a díky regulaci přísunu tepla nedochází k tepelnému ovlivnění základního materiálu a tepelným deformacím. Pro dosažení požadované pevnosti svarů je vhodné použít předehřev 150 – 300 °C a následné pomalé dochlazování svarů. Je to proto, neboť tato ocel je podmíněně svařitelná kvůli vyššímu obsahu uhlíku. Vhodná je kontrola svarů a jejich následné přebroušení, neboť každý pór či špatné napojení svaru způsobuje koncentraci napětí a následnou trhlinu. Po dokončení svařování a vychladnutí materiálu je vhodné ještě jednou přerezat závity ve vložkách. Vlivem teploty totiž může dojít ke smrštění vložky. Jako finální povrchovou úpravu doporučuji práškové lakování, neboli komaxit. Výrobní výkres trubkového ramena a vložek je uveden v přílohách.

#### 4.2.2 Uložení trubkového ramena

Toto řešení je navrženo tak, aby došlo pouze k úpravě prvků, které slouží ke spojení ramena s ostatními částmi podvozku. Nápravnice a těhlice celkově zůstává bez úprav. U vyztuženého ramena je zachováno původní uložení pomocí silentbloků. Konstrukce trubkového ramena toto nedovoluje, a proto je nutné navrhnout i nové uložení. Ke spojení s těhlicí přes unibal jsem navrhl jednoduchou redukci, pomocí které bude rameno pevně spojeno, ale nebude nijak omezena jeho funkčnost v kloubu. Jedná se o soustružený díl. Jeho výhodou je snadná montáž a spolehlivost. Není třeba žádných dalších úprav na těhlici.

Přední uložení ramene taktéž vyžaduje nutnou úpravu v podobě dvou vložek, kterými se vymezí vůle mezi šroubem a kloubem unibalu. Původní rameno je v těchto místech vybaveno silentblokem.

Poslední zadní uložení spočívá v nahrazení původního silentbloku, který u trubkového ramene ztrácí význam. Nové uložení je tvořené nosnou deskou. V té je přivařen čep, který zachycuje veškeré síly a přenáší je do karoserie. Připevnění desky pomocí dvou šroubů je shodné s původním silentblokem. Všechny tři nově navrhnuté uložení včetně tří unibalů jsou vidět na obr. 19.



*Obr. 19 Uložení trubkového ramene [autor]*

### 4.2.3 Návrh výroby součástí uložení

Redukce mezi těhlicí a unibalem je jednoduchá soustružená součást z oceli 16MnCr5. Základem je válcovaná tyč, obrobená na požadovaný rozměr. Následně je ve spodní části vyřezán závit M 18x1,5. Průměr, na kterém je nasazen unibal je dobré upravit tak, aby vznikl mírný přesah. Tím bude spojení dokonale pevné bez nežádoucích vůlí. Celý spoj je pak opatřen samojistnou maticí, popřípadě korunovou maticí se závlačkou, pro kterou se vyvrtá díra.

Podobně jako v předešlém případě je i přední uložení trubkového ramene tvořeno soustruženými součástmi. Těmi jsou dvě vložky, obrobené na požadovaný rozměr. Materiál je zvolen jako konstrukční ocel s označením S235JR.

Pro výrobu zadního uložení je nejprve nutné vyfrézovat nosnou desku na základní rozměr. Dále se do ní vyfrézuje díra pro čep a dvě díry pro upevňovací šrouby. Následně se vysoustruží čep, který se na konci opatří závitěm M18x1,5. Opět je vhodné dodržet mírný přesah na průměru pro unibal. Čep se důkladně přivaří k desce dvěma koutovými svary. Materiál desky je volen jako 25CrMo4 a materiál čepu je 16MnCr5. V obou případech se jedná o svařitelnou ocel.

Jako povrchová úprava výše zmíněných součástí je vhodný klasický nátěr nebo lak, který zabrání případné korozi. Výrobní výkresy všech uložení jsou uvedeny v přílohách.



## 5 Pevnostní výpočet ramene a s ním souvisejících součástí

Pevnostní výpočet je prováděn softwarově metodou konečných prvků v programu Autodesk Inventor. V současné době se jedná o nejrozšířenější metodu výpočtů v technické praxi. V mém případě budu zjišťovat průběhy napětí a deformací, které vznikají působením silových účinků. Tyto účinky se přenesou na 3D model, který jsem navrhl v předcházející části. Rovněž je velice důležité nadefinovat vlastnosti materiálu, který bude použit. Také bude provedena pevnostní kontrola navrženého uložení pro trubkové rameno. Zde ovšem bude uložení zatěžováno pouze jednou silou a to tou, která způsobuje největší riziko poškození. U všech navržených variant bude kontrolována pouze statická bezpečnost  $k_S$ . Dynamické účinky vzniklé provozem budou zohledněny snížením statické bezpečnosti koeficientem 0,65. Dynamická bezpečnost tedy bude nabývat hodnot:

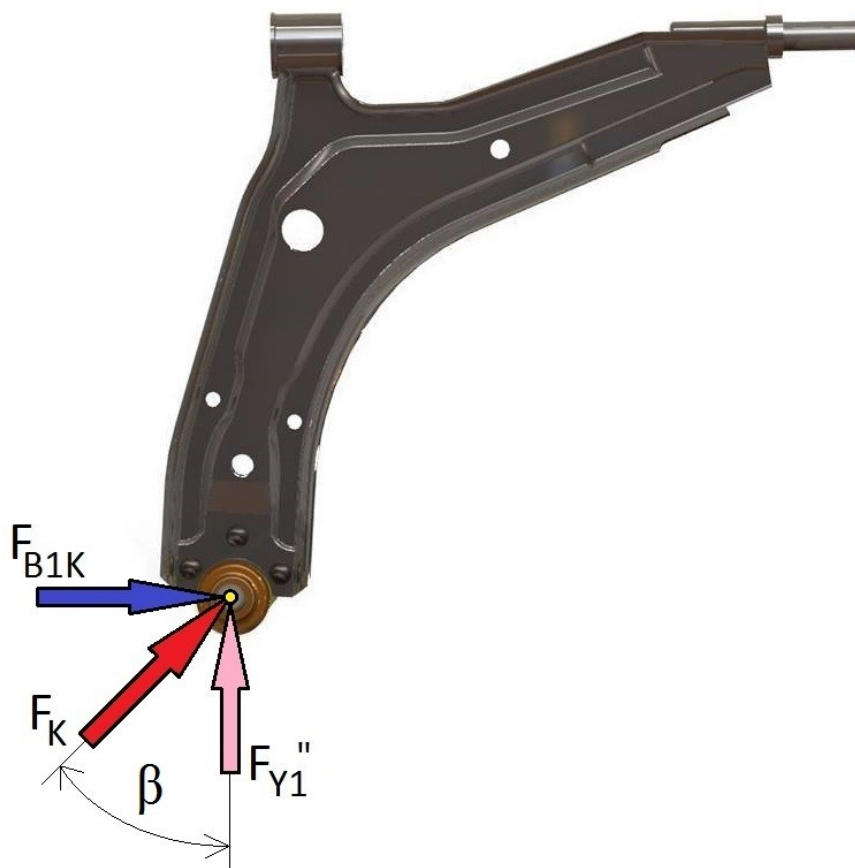
$$k_D = 0,65 \cdot k_S \quad (5.01)$$

Požadavkem je, aby dynamická bezpečnost měla hodnotu  $k_D \geq 2$ .

Při pevnostní kontrole každého ramena, bylo postupně použito celkem 7 zatěžujících sil. Tyto síly představují jednotlivé jízdní stavy, ve kterých je rameno zatěžováno. Jedná se o brzdění, průjezd směrovým obloukem a jejich kombinace. U každé zatěžující síly je hodnocena deformace, napětí a bezpečnost. Vzhledem k velkému počtu analýz jsou kvůli přehlednosti výsledky zpracovány do tabulky. Pro lepší orientaci jsou zobrazeny pouze analýzy napětí a deformací každého ramena, při stavu brzdění. Zobrazení ostatních analýz je zařazeno do příloh na datový nosič jako samostatný dokument s názvem Výsledky\_MKP.

## 5.1 Rozložení působících sil na rameno

Postupně bude kontrolováno několik zátěžných stavů na mnou navržených variantách. Nejprve bude kontrolováno původní neupravené rameno, které bude sloužit jako porovnávací prvek. Na každé rameno bude postupně vloženo 7 zatěžujících sil, které budou simulovat reálné jízdní stavy vozidla. Síla  $F_{B1K}$  představuje maximální sílu na jedno kolo během brzdění a působí rovnoběžně s podélnou osou vozidla. Podobně síla  $F_{Y1}''$  představuje maximální boční sílu na nejvíce zatížené vnější kolo a působí kolmo na podélnou osu vozidla. Síla  $F_K$  je kombinací předešlých sil z Kammovy kružnice a její úhel  $\beta$  se mění v rozsahu  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  a  $75^\circ$ . Síly působí vždy do středu kulového čepu, mění se pouze jejich úhel a velikost.



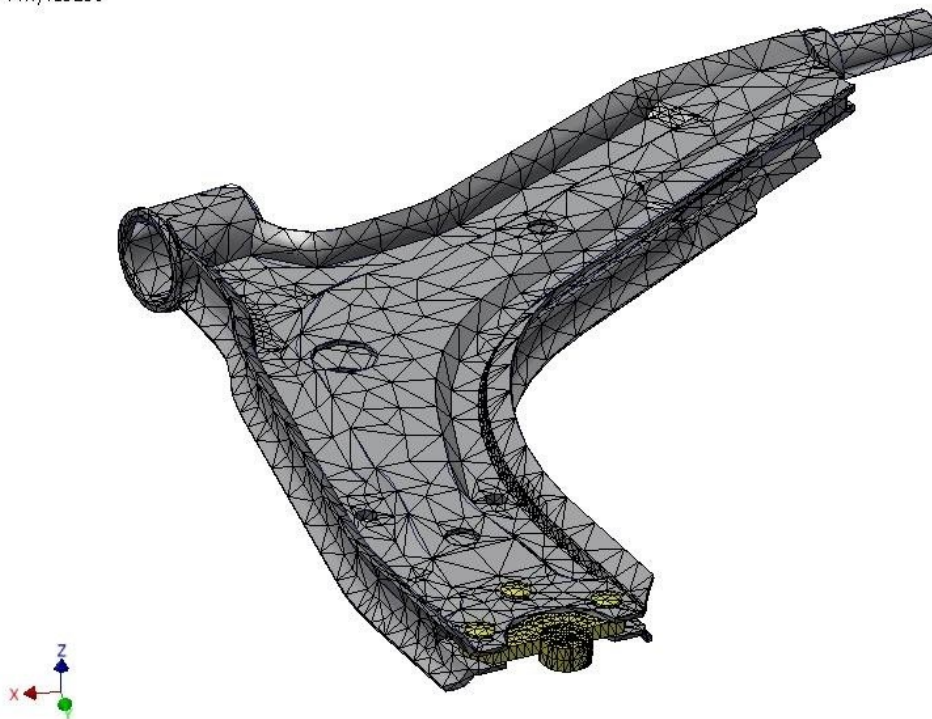
Obr. 20 Rozložení působících sil [autor]

## 5.2 Kontrola původního ramena

Pro tuto kontrolu je použit již zmíněný 3D model původního ramene, který přesně odpovídá fyzické předloze. Jsou použity pevné vazby v uložení tak, aby bylo možné kontrolovat napětí a deformace, které se v něm nacházejí. Jelikož není znám materiál ramena ani jeho mechanické vlastnosti, byla zvolena nelegovaná konstrukční ocel S235JR. Tato ocel je vhodná jak k tváření za tepla, tak i ke tváření za studena a svými mechanickými vlastnostmi odpovídá materiálu, který se na takovéto lisované součásti používá. Mez kluzu tohoto materiálu je 235 MPa a mez pevnosti je 360 MPa. Materiálový list použité oceli je uveden v přílohách.

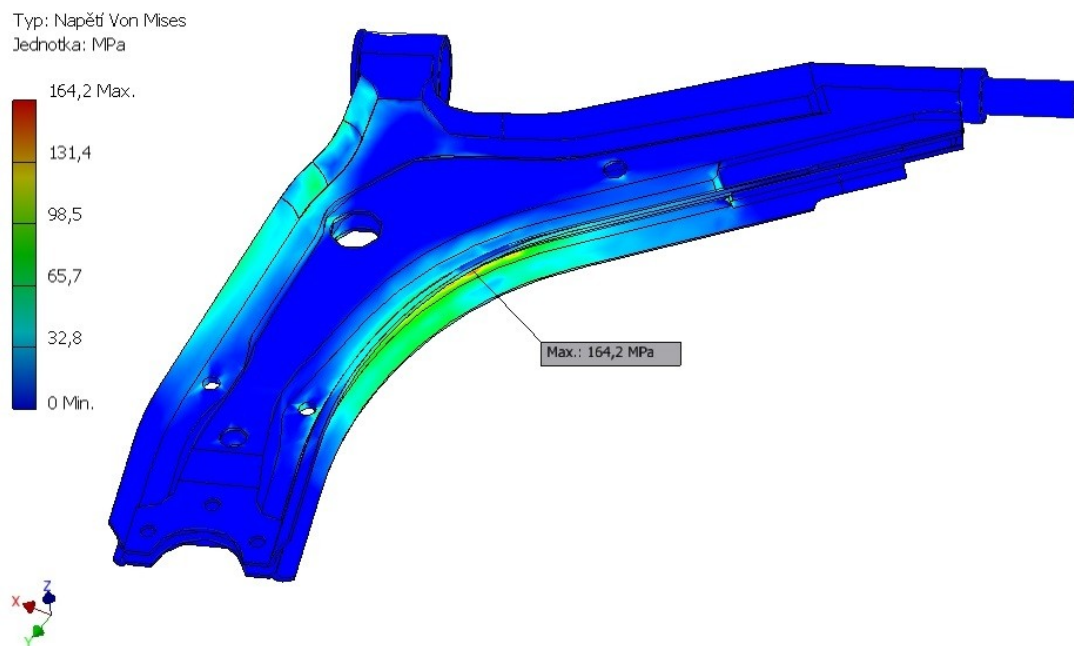
Po nadefinování 3D modelu byla vytvořena síť modelu, která obsahuje 29 318 uzlů a 15 238 prvků. Se snižující se velikostí prvku sítě roste přesnost výsledků simulace. Tím ovšem roste i čas nutný pro výpočet.

Uzly: 29318  
Prvky: 15238



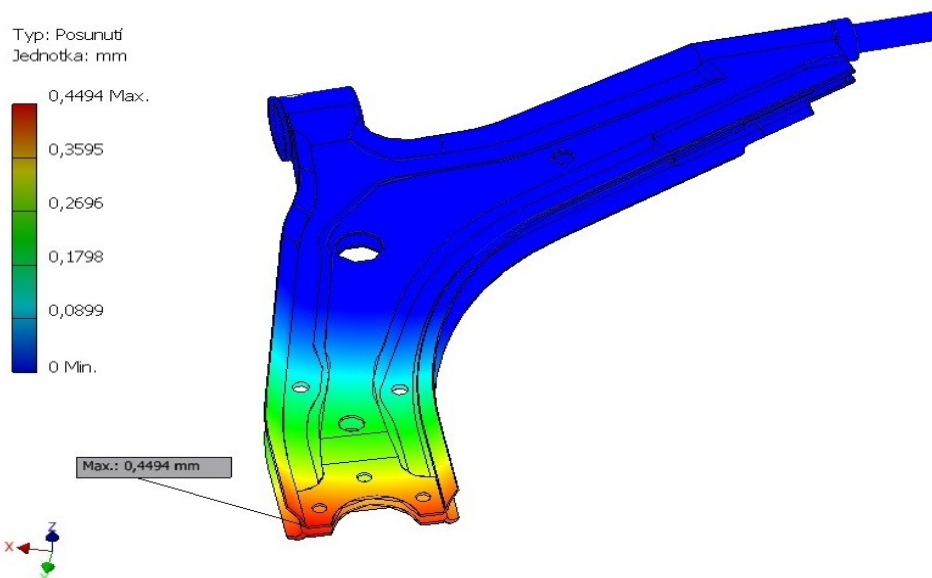
*Obr. 21 Síť modelu [autor]*

Z analýzy napětí je jasně vidět, že při působení maximální brzdné síly vzniká napětí o velikosti 164,2 MPa. Kritické místo je vidět na obr. 22. Jedná se o nejvyšší napětí, které se v rameni vyskytuje. Při působení ostatních sil se již k takové hodnotě není možné dostat. Proto lze tuto situaci považovat za kritickou.



Obr. 22 Napětí v originálním rameni [autor]

Z analýzy deformace je vidět, že k největšímu posunutí ramena dochází v místech uložení kulového čepu. Opět se tak děje při působení maximální brzděné síly. Deformace nabývá hodnoty 0,4494 mm. Také statická bezpečnost při tomto jízdním stavu dosahuje svého minima o hodnotě  $k_s = 1,43$ . Dynamická bezpečnost  $k_D = 0,93$ .



Obr. 23 Posunutí originálního ramene [autor]

V následující tabulce je vidět vývoj napětí, deformace, statické a dynamické bezpečnosti při sedmi zátěžných stavech. Nejkritičtějších hodnot je dosaženo při působení maximální brzděné síly. Zde je nejvyšší napětí, nevyšší deformace a nejnižší bezpečnost. Tomuto stavu by měla být věnována potřebná pozornost.

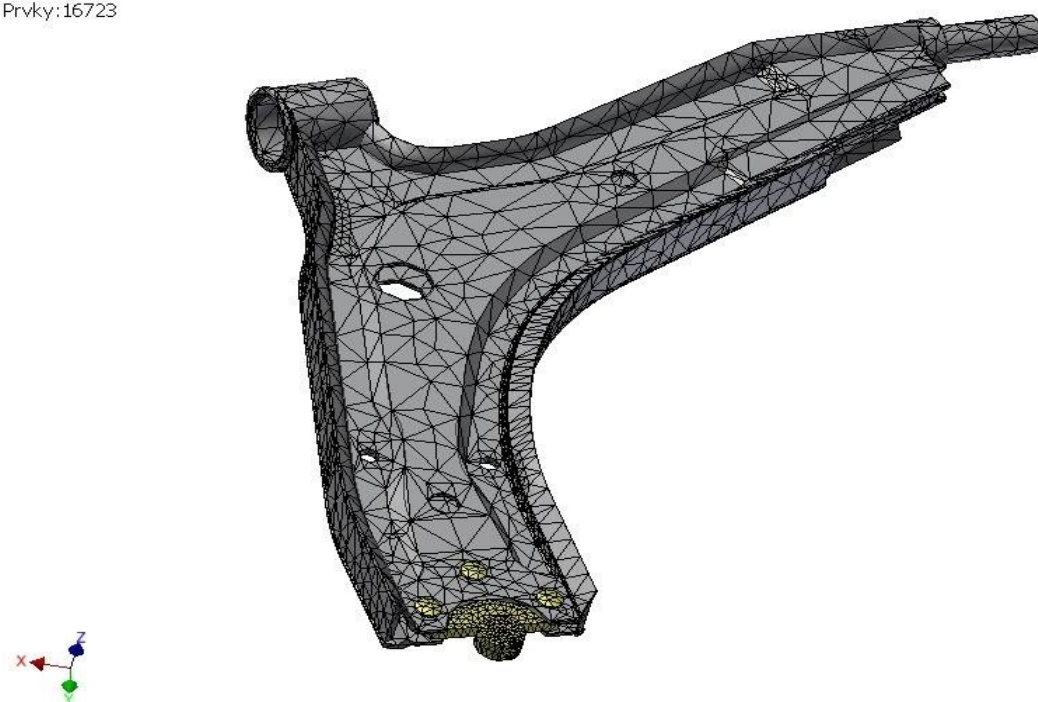
Tab. 7 Výsledky pevnostní kontroly [autor]

| Jízdní stav                    | Napětí [MPa] | Deformace [mm] | Statická bezpečnost [-] | Dynamická bezpečnost [-] |
|--------------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| $\beta = 0^\circ$ boční síla   | 44,60        | 0,0990         | 5,27                    | 3,43                     |
| $\beta = 15^\circ$             | 31,89        | 0,0280         | 7,37                    | 4,79                     |
| $\beta = 30^\circ$             | 60,34        | 0,1413         | 3,89                    | 2,53                     |
| $\beta = 45^\circ$             | 97,48        | 0,2507         | 2,41                    | 1,57                     |
| $\beta = 60^\circ$             | 128,7        | 0,3433         | 1,83                    | 1,19                     |
| $\beta = 75^\circ$             | 152,5        | 0,4131         | 1,54                    | 1,00                     |
| $\beta = 90^\circ$ brzdná síla | 164,2        | 0,4494         | 1,43                    | 0,93                     |

### 5.3 Kontrola vyztuženého ramena

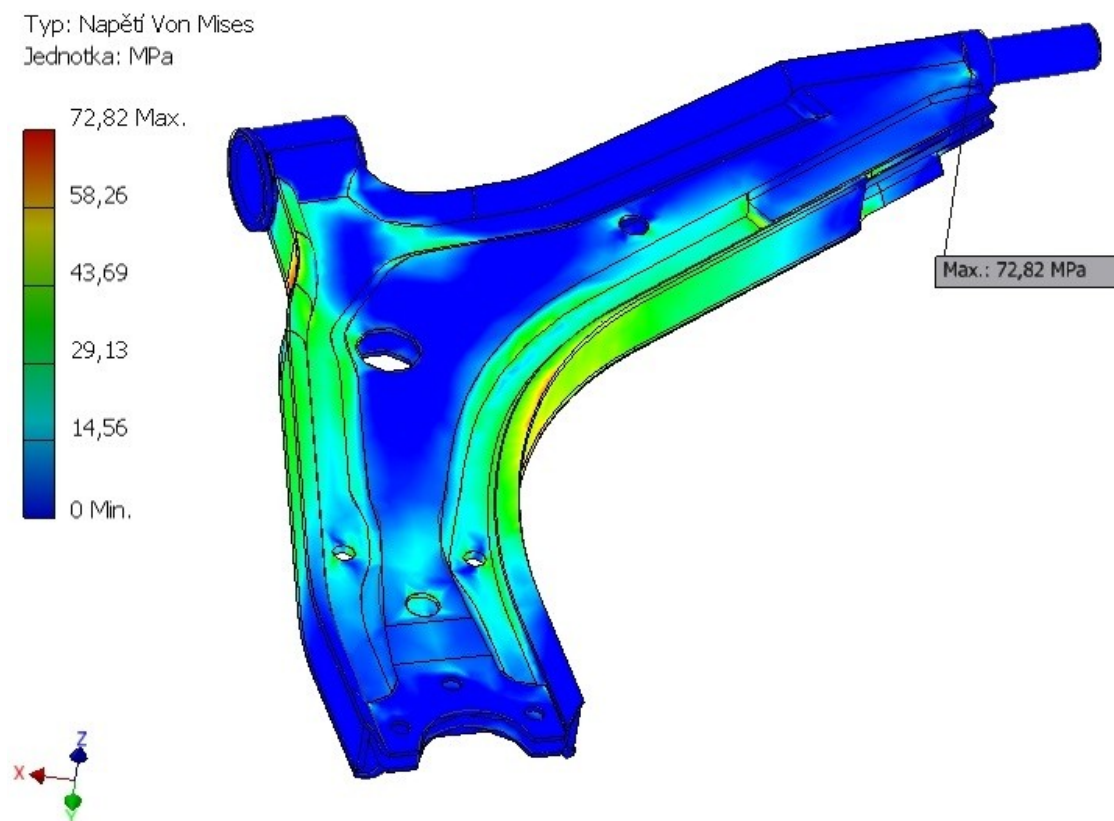
Pro tuto kontrolu je použit opět 3D model původního ramena, který je tentokrát opatřen třemi výztužnými plechy po obvodu. Vazby v uložení jsou totožné jako v předchozím případě, rovněž i materiál samotného ramena i výztuh je stejný. Po nadefinování 3D modelu byla vytvořena síť modelu, která obsahuje 32 528 uzlů a 16 723 prvků. Mechanické vlastnosti materiálu jsou opět totožné s předchozím případem.

Uzly: 32528  
Prvky: 16723



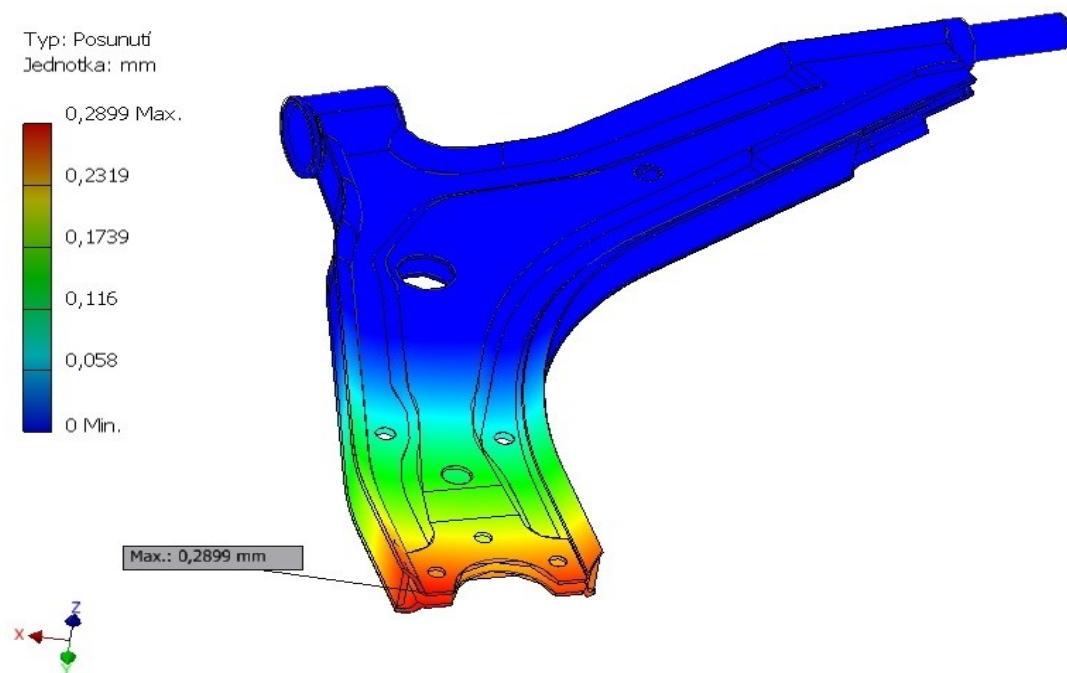
Obr. 24 Síť modelu [autor]

Z analýzy napětí je vidět, že při působení maximální brzdné síly vzniká napětí o velikosti 72,82 MPa. Toto napětí oproti původním nevyztuženému rameni kleslo přibližně na polovinu. Kritické místo je vidět na obr. 25.



*Obr. 25 Napětí ve vyztuženém rameni [autor]*

K největším deformacím dochází opět při působení maximální brzdné síly. Tentokrát je hodnota deformace 0,2899 mm, takže bylo dosaženo jisté zlepšení. Také statická bezpečnost při tomto jízdním stavu vzrostla na hodnotu  $k_S = 3,23$  a dynamická bezpečnost na hodnotu  $k_D = 2,09$ .



Obr. 26 Posunutí ve vyztuženém rameni [autor]

V následující tabulce je vidět vývoj sledovaných veličin, tentokrát u vyztuženého ramena. Je jasně vidět zlepšení ve všech směrech. Lze tedy říct, že vyztužené plechy mají velký přínos na zlepšení požadovaných vlastností.

Tab. 8 Výsledky pevnostní kontroly [autor]

| Jízdní stav                    | Napětí [MPa] | Deformace [mm] | Statická bezpečnost [-] | Dynamická bezpečnost [-] |
|--------------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| $\beta = 0^\circ$ boční síla   | 33,00        | 0,0637         | 7,12                    | 4,63                     |
| $\beta = 15^\circ$             | 22,76        | 0,0195         | 10,32                   | 6,34                     |
| $\beta = 30^\circ$             | 34,94        | 0,0917         | 6,73                    | 4,37                     |
| $\beta = 45^\circ$             | 45,12        | 0,1621         | 5,21                    | 3,39                     |
| $\beta = 60^\circ$             | 58,14        | 0,2217         | 4,04                    | 2,62                     |
| $\beta = 75^\circ$             | 68,08        | 0,2666         | 3,45                    | 2,24                     |
| $\beta = 90^\circ$ brzdná síla | 72,82        | 0,2899         | 3,23                    | 2,09                     |



## 5.4 Kontrola trubkového ramena

V tomto případě je kontrolován 3D model trubkového ramena. Jsou použity pevné vazby v uložení tak, jako v předchozích případech. Jediná odlišnost je v použitém materiálu. Ten byl zvolen s ohledem na vysoké zatížení a také s ohledem na požadavky, kterých má být splněno. Jedná se o nízkolegovanou ušlechtilou chrom-molybdenovou ocel s označením 25CrMo4. Tato ocel je vhodná k výrobě bezešvých trubek a je také vhodná ke sváření. Mez kluzu toho materiálu je 600 MPa a mez pevnosti je 830 MPa. Materiálový list použité oceli je uveden v přílohách.

Po nadefinování 3D modelu byla vytvořena velice detailní síť modelu, která obsahuje 76 522 uzlů a 44 466 prvků.

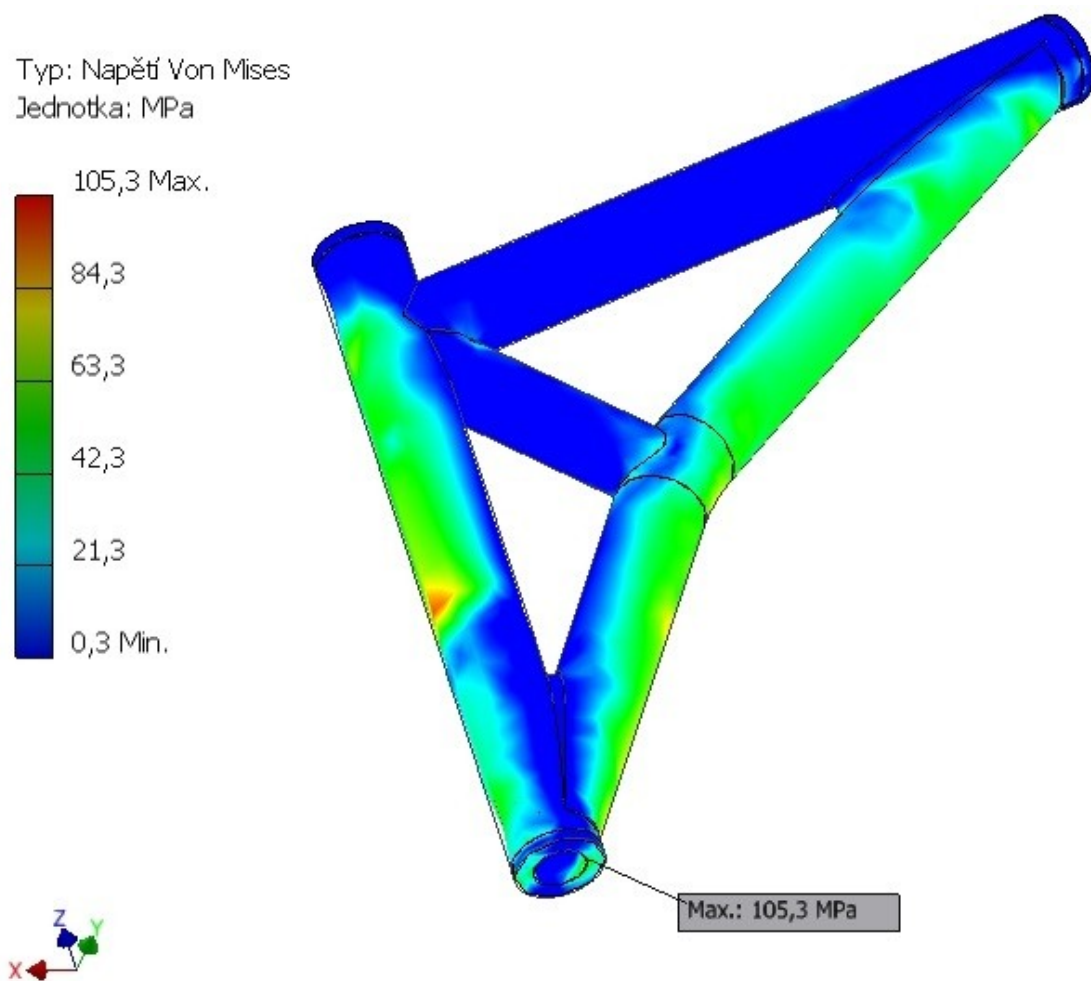
Uzly:76522  
Prvky:44466



*Obr. 27 Síť modelu [autor]*

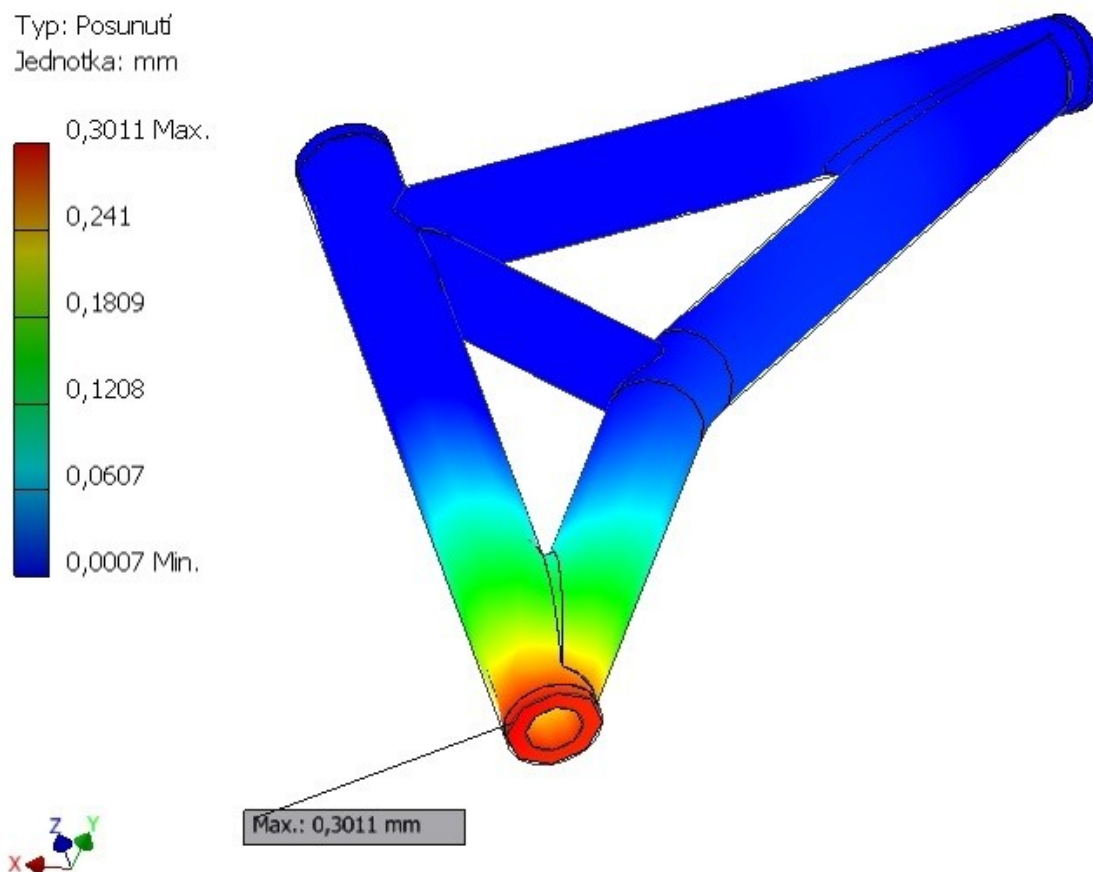
Z analýzy napětí je vidět, že při působení maximální brzdné síly vzniká napětí o velikosti 105,3MPa. Kritické místo je vidět na obr. 28.





*Obr. 28 Napětí v trubkovém rameni [autor]*

Stejně jako v předešlých případech, tak i tentokrát dochází k největším deformacím při působení maximální brzdné síly. Hodnota deformace je 0,3011 mm, takže nastalo opět zlepšení oproti původnímu neupravenému rameni. Statická bezpečnost při tomto jízdním stavu dosahuje hodnoty  $k_s = 5,70$  a dynamická bezpečnost  $k_D = 3,71$ .



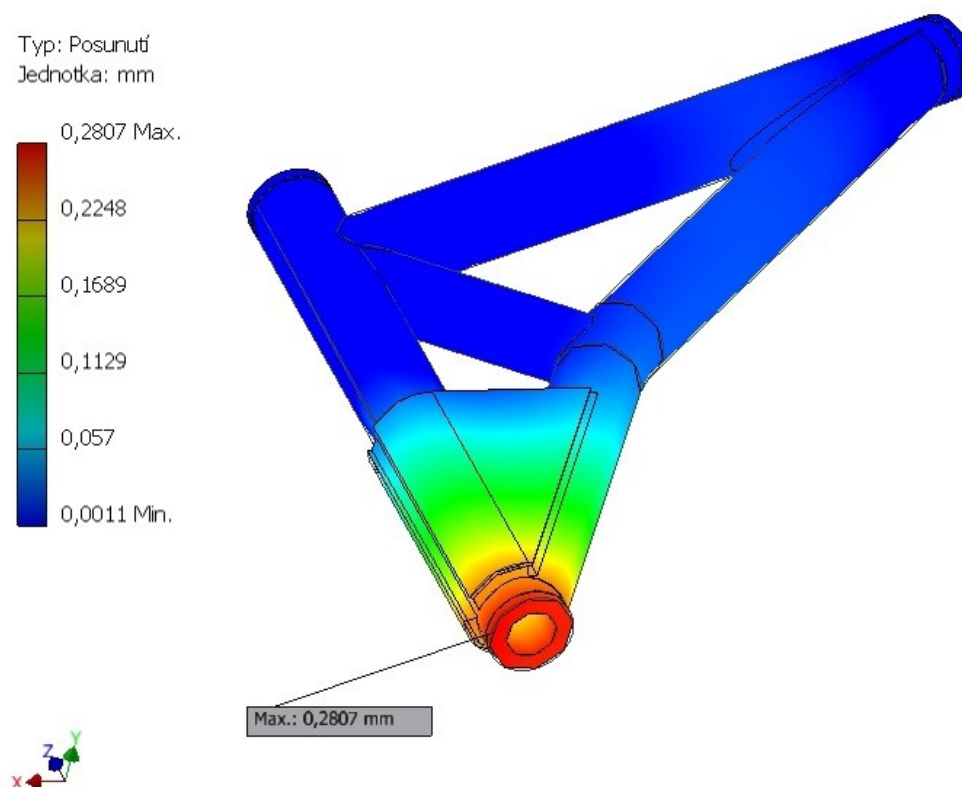
Obr. 29 Posunutí v trubkovém rameni [autor]

V následující tabulce je vidět vývoj sledovaných veličin u trubkového ramena. Zlepšení nastalo především v oblasti bezpečnosti.

Tab. 9 Výsledky pevnostní kontroly [autor]

| Jízdní stav                    | Napětí [MPa] | Deformace [mm] | Statická bezpečnost [-] | Dynamická bezpečnost [-] |
|--------------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| $\beta = 0^\circ$ boční síla   | 42,60        | 0,0801         | 14,08                   | 9,15                     |
| $\beta = 15^\circ$             | 24,76        | 0,0173         | 15,00                   | 9,75                     |
| $\beta = 30^\circ$             | 47,55        | 0,0855         | 12,60                   | 8,19                     |
| $\beta = 45^\circ$             | 70,48        | 0,1589         | 8,51                    | 5,73                     |
| $\beta = 60^\circ$             | 88,60        | 0,2231         | 6,77                    | 4,40                     |
| $\beta = 75^\circ$             | 100,80       | 0,2723         | 5,95                    | 3,87                     |
| $\beta = 90^\circ$ brzdná síla | 105,30       | 0,3011         | 5,70                    | 3,71                     |

Pokud by bylo nutné další snížení deformace, nebo zlepšení pevnosti u trubkového ramena, nabízí se možnost změny materiálu, nebo vyztužení. Po konstrukční stránce je rameno navrženo tak, aby bylo maximálně využito ohnuté trubky, která tvoří vzpěru a zachycuje velkou část napětí a deformací. Vnitřní vložka je také prodloužena až za hranici spoje těchto trubek. Je tedy možné použít dvě výztuhy, které se doplní na nejvíce namáhané místo. Toto zlepšení je potvrzeno pevnostní kontrolou a analýzou deformací. Protože homologační list se tímto problémem nezaobírá a není blíže specifikována konstrukce trubkového ramena, není jisté, zda je tato úprava povolena. Proto je zde zmíněna pouze okrajově jako jedna z možností pro úpravu požadovaných vlastností trubkového ramena.



*Obr. 30 Výztuha trubkového ramena [autor]*

#### **5.4.1 Kontrola uložení trubkového ramena**

Kontrolovány budou pouze ty součásti, které mají přímý vliv na spojení trubkového ramena s nápravnicí a těhlicí. Bude kontrolována redukce k těhlici a zadní uložení. Přední uložení kontrolováno nebude, neboť se jedná pouze o vložku, která vymezuje vzniklou vůli. Jelikož se jedná o prvky kruhového průřezu, postačí pouze jedna pevnostní kontrola pro každou součást.

## Kontrola redukce mezi ramenem a těhlicí

Kontrolován je 3D model redukce. Jsou použity pevné vazby a zátěžná síla  $F''_{Y1}$  působí v bočním směru. Materiálem je nízkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel s označením 16MnCr5. Tato ocel je vhodná k obrábění a lze ji cementovat. Mez kluzu toho materiálu je 540 MPa a mez pevnosti je 785 MPa. Materiálový list použité oceli je uveden v přílohách. Kontrolovaný čep byl namáhán silou  $F''_{Y1}$ .

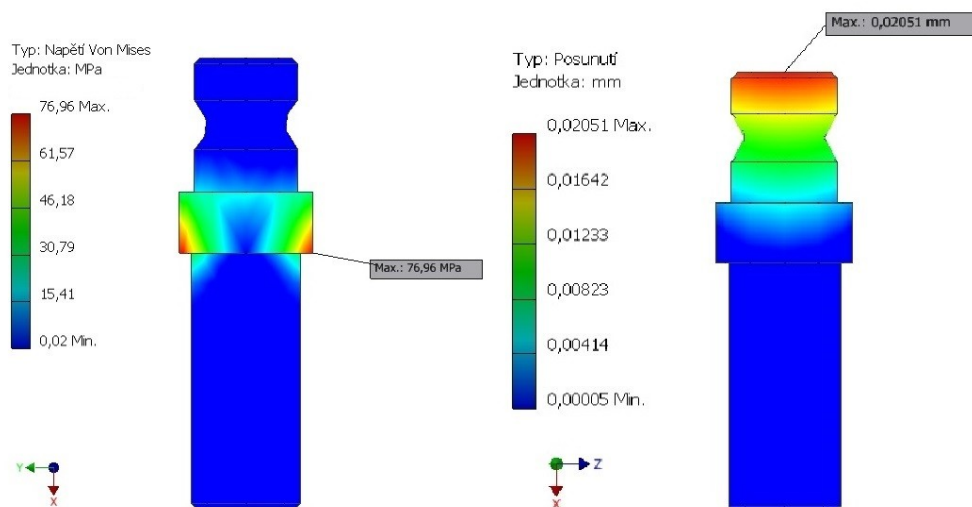
Po nadefinování 3D modelu byla vytvořena síť, která obsahuje 30 608 uzlů a 18 797 prvků.

Uzly:30608  
Prvky:18797



Obr. 31 Síť modelu [autor]

Napětí dosahuje hodnoty 76,96 MPa a posunutí hodnoty 0,0205mm. Statická bezpečnost má hodnotu 7,02 a dynamická 4,56.



Obr. 32 Napětí a posunutí v redukci [autor]

## Kontrola zadního uložení trubkového ramene

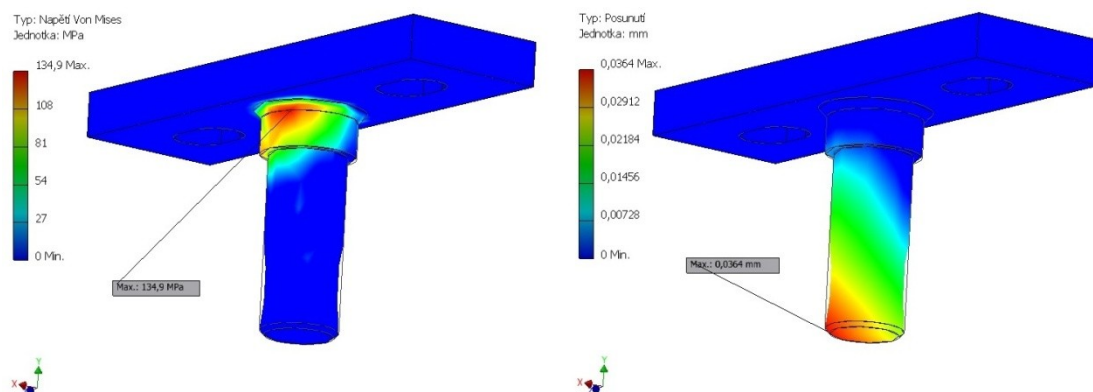
Kontrolován je 3D model zadního uložení, na který působí brzdná síla  $F_{B1K}$  přes trubkové rameno, stejně jako v reálném stavu. Trubkové rameno je poté vyloučeno ze simulace, aby neovlivnilo výsledky. Jsou použity pevné vazby. Materiál desky je ocel 25CrMo4 a materiál čepu je ocel 16MnCr5. Mechanické vlastnosti jsou stejné jako v předchozích případech. Zadní uložení bylo přes rameno zatíženo silou  $F_{B1K}$ .

Uzly:87688  
Prvky:51267



Obr. 33 Síť modelu [autor]

Napětí má velikost 134,9 MPa a posunutí 0,036mm. Statická bezpečnost má hodnotu 4 a dynamická 2,6.

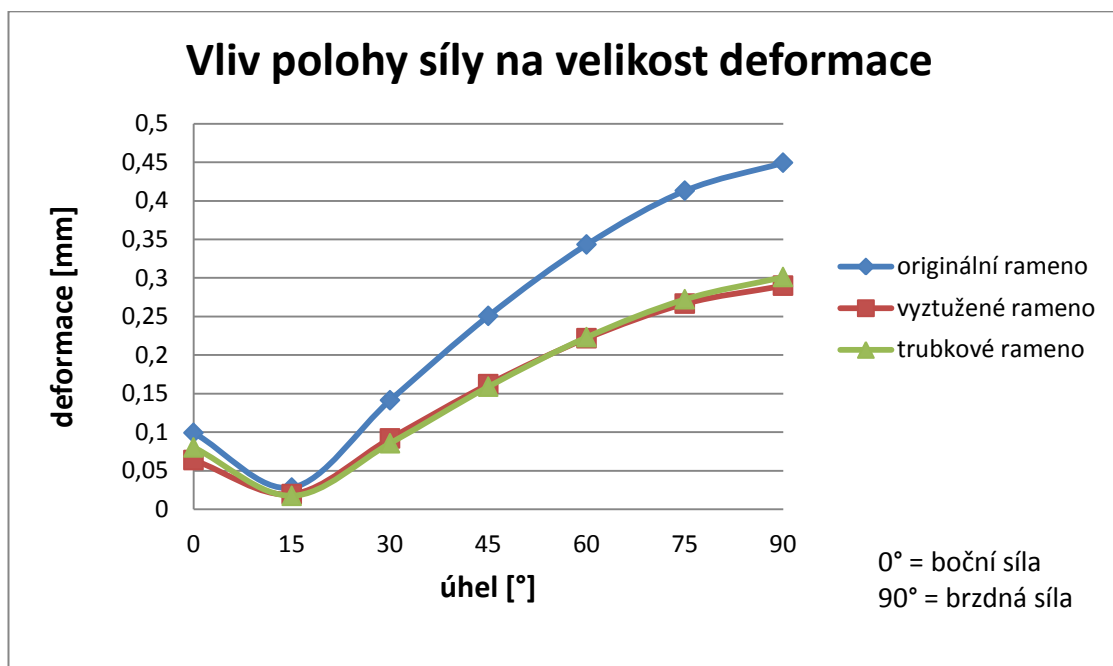


Obr. 34 Napětí a posunutí v zadním uložení [autor]

## 6 Celkové zhodnocení úprav, materiálová a finanční náročnost

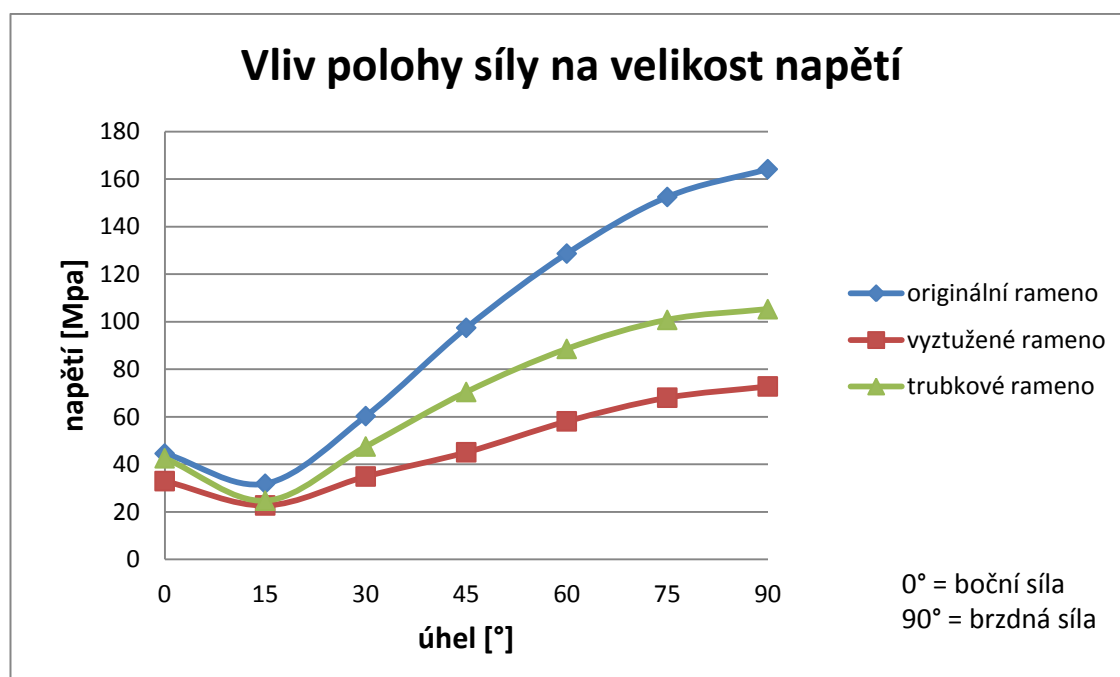
Obě navržené varianty splňují zadané požadavky a je tedy možné je použít k závodnímu využití. Jedná se pouze o teoretický návrh, který není fyzicky odzkoušen. Je to tedy jakýsi prototyp, který se nejprve musí otestovat a ověřit jeho správnou funkci. Základním požadavkem bylo dosáhnout menších deformací a vyšší pevnosti, než kterou vykazuje originální rameno zavěšení. To se povedlo splnit jak v případě vyztuženého, tak i trubkového ramena. Při pevnostní kontrole byly u všech ramen nastaveny totožné podmínky, takže výsledky jsou dobře srovnatelné. Detailní porovnání napětí, deformací a bezpečností je vidět v grafech níže.

V následujícím grafu je vidět srovnání mezi originálním, vyztuženým a trubkovým ramenem. Sledovanou veličinou je v tomto případě deformace. Je jasné vidět, že nejkritičtější stavem je působení brzdě síly na mezi adheze. Vyztužené a trubkové rameno mají téměř podobný vývoj křivky, která znázorňuje velikost deformace v závislosti na úhlu působení síly. K nejvýraznějšímu zlepšení došlo při stavu, kdy působí brzdě síla v plné výši. Se změnou úhlu působící síly dochází k postupnému snižování deformací a je vidět, že při úhlu  $\beta = 15^\circ$  není téměř žádný rozdíl mezi originálním, vyztuženým, nebo trubkovým ramenem.



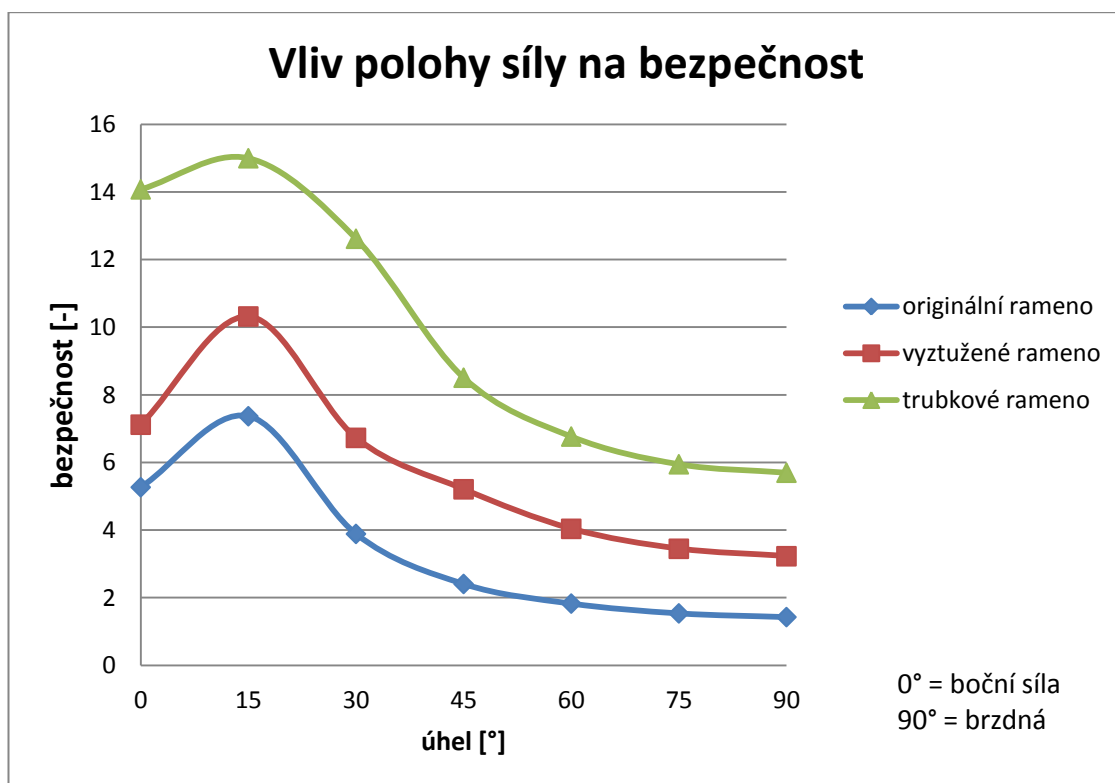
*Graf 1 Vliv polohy síly na velikost deformace [autor]*

Následující graf zobrazuje velikosti dosažených napětí. Použitím výztuh došlo k výraznému snížení napětí oproti originálnímu rameni. Zlepšení je nejvíce patrné opět u stavu brzdění. Zde napětí kleslo až na polovinu původní hodnoty, takže očekávané zlepšení je zcela jasné. V grafu je také vidět křivka napětí u trubkového ramena. Ta se nachází někde mezi hodnotami originálního a vyztuženého ramene. Zde je potřeba si uvědomit, že toto porovnání není zcela relevantní. Je to způsobeno naprosto odlišnými vlastnostmi použitých materiálů. Srovnávat vyztužené a trubkové rameno lze tedy jen z pohledu bezpečnosti.



*Graf 2 Vliv polohy síly na velikost napětí [autor]*

Posledním grafem je zachycen vývoj bezpečnosti jednotlivých druhů ramen. Je jasně vidět rozdíl mezi jednotlivými druhy. Z hlediska statické a dynamické bezpečnosti originální rameno nevyhovuje. Vyztužené rameno vyhovuje v obou případech bezpečnosti. Trubkové rameno se může zdát předimenzované, je to způsobeno úpravami, kterými jsem se snažil dosáhnout co nejnižších deformací. Pokud tedy nebudou kladeny vysoké nároky na velikost deformací, lze bezpečnost snížit na přijatelnou hodnotu.



*Graf 3 Vliv polohy síly na bezpečnost [autor]*

Z předchozích výsledků bylo zjištěno, že nejhorších hodnot se dosahuje ve stavu brzdění, kdy nepůsobí žádná boční síla. Pokud by vozidlo bylo dále upravováno a byl by předpoklad změny velikosti působících sil. Je nutné se zaměřit právě na tento stav.

Z hlediska úspory hmotnosti se nejlépe jeví trubkové rameno, kde je úspora téměř 30% oproti originálnímu a 40% oproti vyztuženému.

Jinak tomu je u srovnání finanční a materiálové náročnosti, kdy se nejlepší variantou zdá vyztužené rameno. U něj není třeba úprav ostatních částí uložení a rovněž jeho úprava je jednoduchá a pořizovací náklady nízké. Zhodnocení materiálové a finanční náročnosti je uvedeno v následujících tabulkách.



## Materiálová a finanční náročnost vyztuženého ramena

Zhodnocení materiálové a finanční náročnosti stavby vyztuženého a trubkového ramene je pouze orientační. Při skutečné výrobě se budou tyto náklady lišit dle aktuálních cen materiálu a spojovacích součástí. Také cena za práci je odhadnuta a nemusí se shodovat s částkou při realizaci stavby. Náklady na montážní práce ramen nejsou zahrnuty, protože ty si bude majitel provádět svépomocí.

*Tab. 10 Soupis a cena materiálu pro vyztužené rameno [autor]*

| Název                              | Materiál | Polotovár / počet kusů | Celková cena   |
|------------------------------------|----------|------------------------|----------------|
| Výztuhy                            | S235JR   | Plech 400x60x3         | 50 Kč          |
| Svařovací drát Bomag 2             | -        | -                      | 100 Kč         |
| Sportovní silentbloky              | -        | 2 ks                   | 900 Kč         |
| <b>Celkové náklady na materiál</b> |          |                        | <b>1050 Kč</b> |

Nejnákladnější položkou jsou sportovní silentbloky. Ostatní náklady na materiál jsou velice nízké.

*Tab. 11 Soupis a cena pracovních činností na výrobu vyztuženého ramena [autor]*

| Název                           | Počet hodin | Hodinová sazba | Cena          |
|---------------------------------|-------------|----------------|---------------|
| Přípravné práce                 | 1           | 150 Kč         | 150 Kč        |
| Svářečské práce                 | 1           | 300 Kč         | 300 Kč        |
| Povrchová úprava                | 0,5         | 150 Kč         | 75 Kč         |
| <b>Celkové náklady na práci</b> |             |                | <b>525 Kč</b> |

Rovněž výroba dosahuje přijatelné částky. V ní se nejvíce se projeví cena za svářečské práce.

Odhad výrobní ceny za jedno vyztužené rameno je 1575 Kč. Výsledná cena za kompletní výrobu dvou ramen by byla tedy 3 150 Kč.

## Materiálová a finanční náročnost trubkového ramena včetně výroby uložení

Tab. 12 Soupis a cena materiálu pro trubkové rameno a uložení [autor]

| Název                              | Materiál | Polotovar / počet kusů | Celková cena   |
|------------------------------------|----------|------------------------|----------------|
| Trubky                             | 25CrMo4  | Tr D30x2-1000          | 250 Kč         |
| Trubky                             | 25CrMo4  | Tr D26x2-85            | 20 Kč          |
| Vložky pro unibal                  | 25CrMo4  | Tyč D30x200            | 40 Kč          |
| Kloub unibal 18mm                  | -        | 3 ks                   | 5 445 Kč       |
| Nosná deska                        | 25CrMo4  | Plech 120x35x10        | 40 Kč          |
| Čep zadního uložení                | 16MnCr5  | Tyč D22x57             | 30 Kč          |
| Vložky předního uložení            | S235JR   | Tyč D22x70             | 20 Kč          |
| Redukce k těhlici                  | 16MnCr5  | Tyč D22x47             | 30 Kč          |
| Svařovací drát Böhler DCMS-IG      | -        | -                      | 200 Kč         |
| Matice M18x1,5; ISO 4035           | -        | 3 ks                   | 60 Kč          |
| Matice M18x1,5; ISO 7719           | -        | 2 ks                   | 40 Kč          |
| <b>Celkové náklady na materiál</b> |          |                        | <b>6175 Kč</b> |

Nejdražší položkou jsou klouby unibal. Kalkulace je provedena pro závodní klouby určené pro motosport. Zde záleží na výběru majitele vozidla, jaké klouby zvolí.

Tab. 13 Soupis a cena pracovních činností na výrobu trubkového ramena a uložení [autor]

| Název                           | Počet hodin | Hodinová sazba | Cena           |
|---------------------------------|-------------|----------------|----------------|
| Přípravné práce                 | 1           | 150 Kč         | 150 Kč         |
| Obráběčské práce                | 4           | 300 Kč         | 1200 Kč        |
| Svářečské práce                 | 2           | 300 Kč         | 600 Kč         |
| Povrchová úprava                | 1           | 250 Kč         | 300 Kč         |
| <b>Celkové náklady na práci</b> |             |                | <b>2250 Kč</b> |

Odhad výrobní ceny za jedno trubkové rameno včetně jeho uložení je 8 425 Kč. Výsledná cena za kompletní výrobu obou stran by byla tedy 16 850 Kč.

Nejvhodnější varianta je podle mého názoru trubkové rameno, neboť splňuje všechny zadané požadavky v plné výši. Jako nevhodnější materiál se při pevnostních

kontrolách osvědčila chrom-molybdenová ocel, která je použita i na jiných součástech uložení. Velkou předností trubkového ramena je možnost nastavení geometrie přední nápravy, vysoká pevnost a velká úspora hmotnosti. Rovněž výroba není nijak složitá. Náklady na výrobu jsou v porovnání s vyztuženým ramenem vyšší, ale jedná se o částku, která je pouze orientační. Záleží na možnostech a schopnostech majitele vozidla jak k výrobě bude přistupovat. Pokud by přece jen byly zjištěny nedostatky v oblasti pevnostních vlastností trubkového ramena, nabízí se zušlechťování materiálu ramena, popřípadě jeho součástí a uložení. Nedostatky, které se objevovaly v originálním uložení, by tímto měly být odstraněny. Další se ale mohou projevit u nápravnice. Zde bych doporučoval vyztužení doplňkovými svary, výztuhami, nebo je možné vytvořit trubkovou konstrukci, která zajistí požadované vlastnosti. Především je nutné ověřit, zda tyto zmíněné úpravy nápravnice nejsou nad rámec homologačního listu.

## 7 Závěr

Náplní mé diplomové práce byl návrh zavěšení předního kola soutěžního vozidla Škoda Favorit sk. A. Abych mohl navrhnout optimální řešení, musel jsem nejprve prostudovat homologační list A-5373, který specifikuje požadavky na jednotlivé konstrukční díly vozidla. Poté jsem se již mohl věnovat výpočtu působících sil v zavěšení. Výpočet byl proveden pro typické jízdní stavy, ve kterých dochází k největšímu zatížení. Tyto síly pak sloužily jako zatěžující elementy při pevnostní kontrole metodou konečných prvků. Při návrhu jsem vycházel ze základních rozměrů originálního ramene. To také sloužilo k porovnání jednotlivých návrhů. Vytvořil jsem celkem 2 návrhy zavěšení. Jedním je úprava originálního ramene vyztužením. Druhý návrh je výroba zcela nové a odlišné konstrukce z ocelových trubek. Obě varianty splnily zadané podmínky téměř ve všech ohledech. U vyztuženého ramena nelze dosáhnout nižší hmotnosti, to je dáno charakterem úpravy. Trubkové rameno je zase náročnější na výrobu a finance. V celkovém srovnání, pomineme-li finanční stránku výroby, se přikláním k trubkovému rameni. Jeho výhody v oblasti úspory hmotnosti, flexibilním nastavením geometrie přední nápravy a malé deformace hovoří v jeho prospěch. Pro výrobu obou návrhů včetně uložení jsem zpracoval výkresovou dokumentaci. Ta je uvedena v přílohách.

Věřím, že má diplomová práce bude přínosem pro pana Michala Nedbala a jeho závodní vůz. Jelikož se jedná o jakýsi prototyp, mohou se projevit nedostatky návrhu, nebo samotné výroby. Doufám ale, že celá konstrukce se osvědčí a přinese kladné výsledky v podobě spolehlivého a bezpečného provozu vozidla během závodní sezóny.

Diplomová práce mě obohatila o nové zkušenosti a cenné informace. Věřím, že získaných zkušeností využiji nejen v osobním, ale i profesním životě.

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jakubovi Šmirusovi za vedení celé práce, jeho rady a poskytnutí nezbytných informací. Dále pak panu Michalu Nedbalovi, který bude realizovat můj návrh na svém soutěžním vozidle. Velký dík rovněž patří rodině a přátelům za podporu při studiu a vytvoření potřebného zázemí.

## 8 Seznam použitých pramenů

[1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-x.

[2] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 2., upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2002, 637 s. ISBN 80-859-2083-2

[3] CEDRYCH, Mario René. *Škoda FAVORIT, FORMAN, PICK-UP: Úplný popis vozů od počátku do ukončení výroby*. 2. upr. vyd. Praha: Grada, 1995, 387 s. ISBN 80-7169-196-8.

[4] JAROSLAV ANDRT, Tomáš Malina. *Údržba a opravy automobilů Škoda Favorit, Forman, Pick Up*. 2. dopl. vyd. Praha: Tomáš Malina, 1993. ISBN 8090075940.

[5] BOŘIVOJ PLŠEK. *Škoda Favorit sporovní úpravy*. Praha 4 : Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0082-0.

[6] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. doplněné vydání. Úvaly: ALBRA, 2006. ISBN 80-7361-033-7

[7] Homologační list F.I.S.A. A-5373

[8] Homologační list F.I.S.A. N-5373

[9] Škoda Favorit 136L [online], [13.5.2015]. Dostupné z: <<http://museum.skoda-auto.cz/museum/collection-gallery>>

[10] Škoda Favorit rally sk.A [online], [13.5.2015]. Dostupné z: <<http://www.ewrc.cz/ewrc/show.php?id=1868>>

[11] Feron: Velkoobchod s hutním materiálem [online], [13.5.2015]. Dostupné z: <<http://www.ferona.cz>>

[12] Bolzano: Velkoobchod s hutním materiálem [online], [13.5.2015]. Dostupné z:  
< <http://www.bolzano.cz/> >

[13] ATS Trutnov: Distributor a prodejce autodílů [online], [13.5.2015]. Dostupné  
z: < <http://www.atsservis.eu/> >

## **Používaný software**

SolidWorks 2012

Microsoft Office Excel

Autodesk Inventor 2012

## 9 Seznam příloh

**Příloha A** - Kontrola základních rozměrů

**Příloha B** - Trubkové rameno s unibaly

**Příloha C** - Materiálový list oceli 25CrMo4

**Příloha D** - Materiálový list oceli S235JR

**Příloha E** - Materiálový list oceli 16MnCr5

**Příloha F** - Výkres DP-2015-00 - Sestava trubkového ramena

**Příloha G** - Výkres DP-2015-01 - Svařenec trubkového ramena

**Příloha H** - Výkres DP-2015-02 - Svařenec zadního uložení

**Příloha I** - Výkres DP-2015-03 - Vložka uložení

**Příloha J** - Výkres DP-2015-04 - Redukce pro těhlici

**Příloha K** - Výkres DP-2015-05 - Čep zadního uložení

**Příloha L** - Výkres DP-2015-06 - Deska zadního uložení

**Příloha M** - Výkres DP-2015-07 - Vložka unibalu

**Příloha N** - Výkres DP-2015-08 - Vložka unibalu dlouhá

**Příloha O** - Výkres DP-2015-09 - Trubka přímá

**Příloha P** - Výkres DP-2015-10 - Trubka šikmá

**Příloha R** - Výkres DP-2015-11 - Trubka výztužná

**Příloha S** - Výkres DP-2015-12 - Trubka ohnutá

**Příloha T** - Výkres DP-2015-13 - Výztužný plech 1

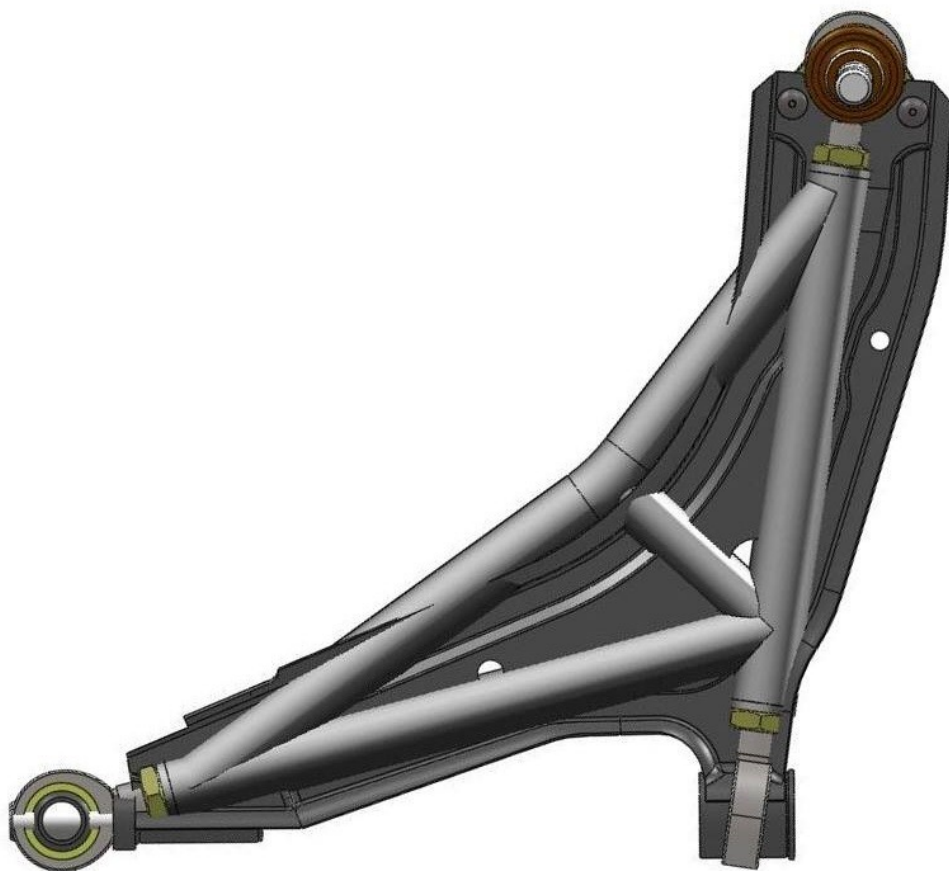
**Příloha U** - Výkres DP-2015-14 - Výztužný plech 2

**Příloha V** - Výkres DP-2015-15 - Výztužný plech 3

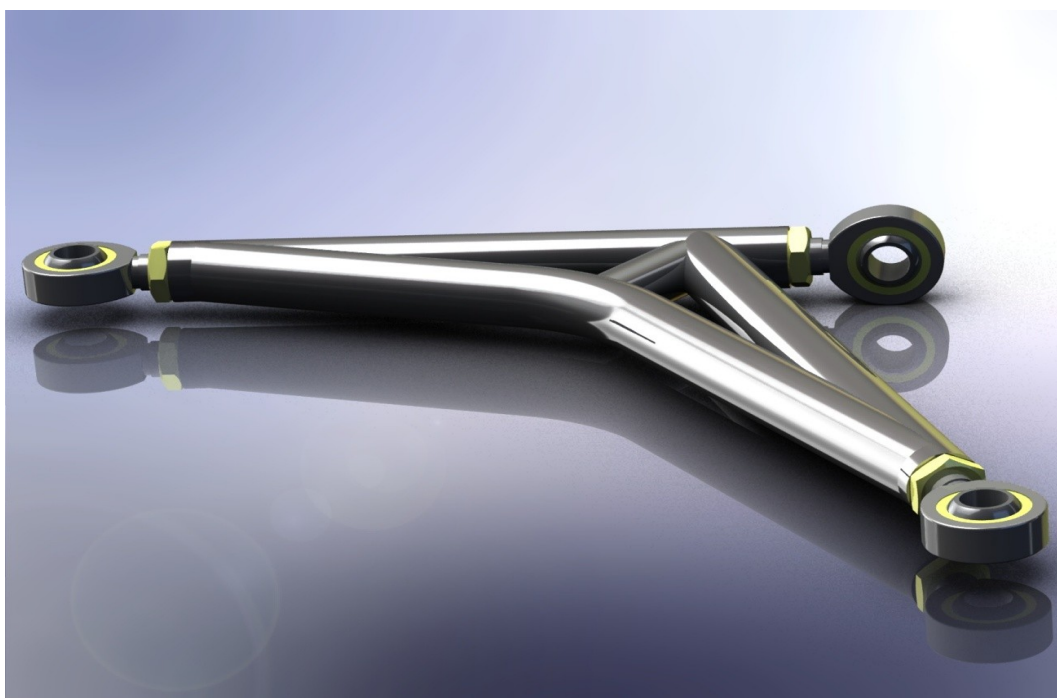
**Příloha W** - Výsledky\_MKP - Datový nosič



## Příloha A



## Příloha B



## Příloha C

| Přehled vlastností oceli 25CrMo4 ( 25CrMoS4 )            |   |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    |                 |    |    |    |    |    | 1.7218 (1.7213) |  |
|--|---|---------|-------------------------|--------|----------------------|-----------|-----------|----|----------|----|-----------------|----|----|----|----|----|-----------------|--|
| Druh oceli   | Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování   |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
| TDP  | ČSN EN 10083-3: 2007  |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
| Dřívější označení  | 25CrMo4 ( 25CrMoS4 ) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 25CrMo4 (25CrMoS4) podle DIN 17200; 15 130 podle ČSN  |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
| Použití  | Ocel s nižší prokalitelností pro středně namáhané strojní díly. Je svařitelná a vhodná pro výrobu bezešvých trub. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 48 HRC. V zušlechtném stavu dosahuje středních hodnot pevnosti a meze kluzu při relativně vysoké houževnatosti. Není náchylná k popouštění křehkosti. |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
| Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )              | C   | Si max. | Mn                      | P max. | S max. <sup>1)</sup> | Cr        | Mo        | Ni | V        |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
|  | 0,22-0,29   | 0,40    | 0,60-0,90               | 0,025  | 0,035                | 0,90-1,20 | 0,15-0,30 | -  | -        |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
| Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>                   | 0,20-0,31   | 0,43    | 0,56-0,94               | 0,030  | 0,040                | 0,85-1,25 | 0,12-0,33 | -  | -        |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
| Mechanické vlastnosti v zušlechtném stavu. <sup>3)</sup> | Průměr mm   |         | R <sub>e</sub> min. MPa |        | R <sub>m</sub> MPa   |           | A min. %  |    | Z min. % |    | KV min. J       |    |    |    |    |    |                 |  |
|  | d ≤ 16  |         | 700                     |        | 900 – 1100           |           | 12        |    | 50       |    | -               |    |    |    |    |    |                 |  |
|  | 16 < d ≤ 40   |         | 600                     |        | 800 - 950            |           | 14        |    | 55       |    | 50              |    |    |    |    |    |                 |  |
|  | 40 < d ≤ 100  |         | 450                     |        | 700 - 850            |           | 15        |    | 50       |    | 50              |    |    |    |    |    |                 |  |
|  | 100 < d ≤ 160   |         | 400                     |        | 650 - 800            |           | 16        |    | 60       |    | 45              |    |    |    |    |    |                 |  |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :                    | Zpracováno na stříhatelnost   |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    | Žitáný na měkko |    |    |    |    |    |                 |  |
|  | HB max. 255   |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    | HB max. 212     |    |    |    |    |    |                 |  |
| Prokalitelnost <sup>4)</sup>                             | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm   |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
|  | Tvrdost v HRC   |         |                         |        |                      |           |           |    |          |    |                 |    |    |    |    |    |                 |  |
|  | <sup>5)</sup>   | Mez     | 1,5                     | 3      | 5                    | 7         | 9         | 11 | 13       | 15 | 20              | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50              |  |
|  | +H  | max.    | 52                      | 52     | 51                   | 50        | 48        | 46 | 43       | 41 | 37              | 35 | 33 | 32 | 31 | 31 | 31              |  |
|  |   | min.    | 44                      | 43     | 40                   | 37        | 34        | 32 | 29       | 27 | 23              | 21 | 20 | -  | -  | -  | -               |  |
|  | +HH   | max.    | 52                      | 52     | 51                   | 50        | 48        | 46 | 43       | 41 | 37              | 35 | 33 | 32 | 31 | 31 | 31              |  |
|  |   | min.    | 47                      | 46     | 44                   | 41        | 39        | 37 | 34       | 32 | 28              | 26 | 24 | 23 | 22 | 22 | 22              |  |
|  | +HL   | max.    | 49                      | 49     | 47                   | 46        | 43        | 41 | 38       | 36 | 32              | 30 | 29 | 28 | 27 | 27 | 27              |  |
|  |   | min.    | 44                      | 43     | 40                   | 37        | 34        | 32 | 29       | 27 | 23              | 21 | 20 | -  | -  | -  | -               |  |

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm) showing yield strength (Rm) and tensile strength (Rp0,2) vs. tempering temperature (T). Rm starts at ~1700 MPa and decreases to ~700 MPa. Rp0,2 starts at ~1100 MPa and decreases to ~600 MPa.

Křivky prokalitelnosti

Křivky prokalitelnosti showing hardness (HRC) vs. distance from quenched end (mm). Curves for Hmax, HHmax, Hmin, HLmin, and HLmax are shown. Hmax and HHmax are the highest, followed by Hmin, HLmin, and HLmax.

| Technologické vlastnosti  |   |                    |                           |                   |                  |                       |
|---|---|--------------------|---------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| Tváření za tepla  | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla: 1100 až 850 °C  |                    |                           |                   |                  |                       |
| Tepelné zpracování  | Normalizační žitání °C  | Žitání na měkko °C | Isotermické žitání °C     | Teplota kalení °C | Kalicí prostředí | Teplota popouštění °C |
|   | 860 až 890  | 680 až 720         | 850 až 920<br>670 -1 hod. | 840 až 880        | voda nebo olej   | 540 až 680            |
|   | Zkouška kalením čela °C<br>850 ± 5  |                    |                           |                   |                  |                       |
| Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.).<br>Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při střední a horní hranici při kalení do oleje. Jako kalicí prostředí lze použít i syntetické polymery. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechtnění u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žitání před zušlechtním.<br>Body přeměny : Ac <sub>1</sub> = 745 °C, Ac <sub>3</sub> = 830 °C, Ms = 370 °C |   |                    |                           |                   |                  |                       |
| Obrobitelnost   | Obrábí se ve stavu žitáném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechtném. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 25CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které mají být zušlechtny na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žitáném a dokončí po zušlechtnění. |                    |                           |                   |                  |                       |
| Stříhatelnost   | Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žitá nebo řízeně vychlazuje.  |                    |                           |                   |                  |                       |

<sup>1)</sup> obsah síry u oceli 25CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

<sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

<sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (žušlechtnění) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žitáném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru.  
Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.  
R<sub>e</sub> – mez kluzu, R<sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L<sub>0</sub> = 5,65√S<sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V- vrubem ( průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

<sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

<sup>5)</sup> +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH – zhužený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zhužený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.

<sup>1)</sup> obsah síry u oceli 25CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

<sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

<sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechtnění) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žitáném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru.

Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.

R<sub>e</sub> – mez kluzu, R<sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L<sub>0</sub> = 5,65 S<sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V- vrubem ( průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

<sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

<sup>5)</sup> +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH – zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.

## Příloha D

| Přehled vlastností oceli S235JR   |   |        |                   |                  |            |          | 1.0038      |          |
|---|---|--------|-------------------|------------------|------------|----------|-------------|----------|
| Druh oceli  | Nelegovaná jakostní konstrukční ocel  |        |                   |                  |            |          |             |          |
| TDP   | ČSN EN 10025-2: 2005  |        |                   |                  |            |          |             |          |
| Dřívější označení   | S235JRG2 podle EN 10025: 1990 + A1: 1993; RSt 37-2 podle DIN 17100; 11 375 podle ČSN  |        |                   |                  |            |          |             |          |
| Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)   | C max. pro tloušťku v mm  |        |                   | Mn max.          | Si max.    | P max.   | S max.      | N max.   |
|   | ≤16   | >16≤40 | >40 <sup>1)</sup> | 1,40             | -          | 0,035    | 0,035       | 0,012    |
|   | 0,17  | 0,17   | 0,20              | 1,40             | -          | 0,035    | 0,035       | 0,012    |
| Složení hotového výrobku  | 0,19  | 0,19   | 0,23              | 1,50             | -          | 0,045    | 0,045       | 0,014    |
| Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru  | Minimální mez kluzu R <sub>eH</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :   |        |                   |                  |            |          |             |          |
|   | ≤16   | >16≤40 | >40≤63            | >63≤80           | >80≤100    | >100≤150 | >150≤200    | >200≤250 |
|   | 235   | 225    | 215               | 215              | 215        | 195      | 185         | 175      |
|   | Pevnost v tahu R <sub>m</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :   |        |                   |                  |            |          |             |          |
|   | ≥ 3 ≤ 100   |        |                   | >100≤150         |            | >150≤250 |             |          |
|   | 360-510   |        |                   | 350-500          |            | 340-490  |             |          |
|   | Minimální tažnost v % ( L <sub>0</sub> = 5.65√S <sub>0</sub> ) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm <sup>2)</sup> :  |        |                   |                  |            |          |             |          |
|   | > 3 ≤ 40  |        | > 40 ≤ 63         |                  | > 63 ≤ 100 |          | > 100 ≤ 150 |          |
|   | 26  |        | 25                |                  | 24         |          | 22          |          |
|   |   |        |                   |                  |            |          | 21          |          |
| Minimální nárazová práce KV ( J ) při 20° C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm : <sup>4), 5)</sup> |   |        |                   |                  |            |          |             |          |
| ≤150  |   |        |                   | >150≤250         |            |          |             |          |
| 27 <sup>4)</sup>  |   |        |                   | 27 <sup>4)</sup> |            |          |             |          |
| Maximální hodnota CEV <sup>3)</sup>   | Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:  |        |                   |                  |            |          |             |          |
|   | ≤ 30  |        | > 30 ≤ 40         |                  | > 40 ≤ 150 |          | > 150 ≤ 250 |          |
|   | 0,35  |        | 0,35              |                  | 0,38       |          | 0,40        |          |
| Technologické vlastnosti  |   |        |                   |                  |            |          |             |          |
| Svařitelnost  | Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 ( EN 1011 ). |        |                   |                  |            |          |             |          |
| Tváření za tepla  | Jsou-li dodávány výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žitání.  |        |                   |                  |            |          |             |          |
| Tvařitelnost za studena   | Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C ( S235JRC ). To se týká i tažení za studena.  |        |                   |                  |            |          |             |          |

<sup>1)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě.  
<sup>2)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout  
<sup>3)</sup> hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV se vypočte z rozboru tavby podle vzorce :  
CEV = C + Mn : 6 + ( Cr+Mo+V ) : 5 + ( Ni+Cu ) : 15  
CEV je volitelný požadavek.  
<sup>4)</sup> průměrná hodnota vypočtená z výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální průměrná hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty.  
V opačném případě se odebírají ze zkušební vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty.  
<sup>5)</sup> pro podélný směr zkoušení.

## Příloha E

| Přehled vlastností oceli 16MnCr5 ( 16MnCrS5 )  |   |   |                          |                      |  |                             |  |  |  | 1.7131 (1.7139) |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|--------------------------|----------------------|--|-----------------------------|--|--|--|-----------------|------|---|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|
| Druh oceli   | Nizkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel k cementování   |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| TDP  | CSN EN 10084  |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Drívější označení  | 16MnCr5 ( 16MnCrS5 ) podle DIN 17210, 14 220 podle ČSN  |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Charakteristika  | Nejčastěji používaná cementační ocel pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel. Prokaluje do hloubky ca 30 mm. Ve stavu kaleném a popuštěném je použitelná pro průměry do ca 35 mm. Je svařitelná a vhodně tepelně zpracovaná též dobře tvařitelná za studena. Přísadou bору (0,0008 až 0,0050%) se docílí zvýšené houževnatosti cementované vrstvy.  |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )  | C   | Si max.                                 | Mn                       | P max.               | S <sup>1)</sup> max.   | Cr                          | Mo   | Ni                                     | Al   |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | 0,14-0,19   | 0,40                                    | 1,00 – 1,30              | 0,035                | 0,035  | 0,80 – 1,10                 | -  | -                                      | Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně; není uvedeno v normě). |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Dovolené odchylky od složení tavby ve výrobku <sup>4)</sup>  | ± 0,02  | + 0,03                                  | ± 0,04                   | + 0,005              | + 0,005  | ± 0,05                      | -  | -                                      |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Mechanické vlastnosti v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) <sup>2)</sup>  | Průměr v mm   |   | Re min. MPa              |                      | Rm MPa   |                             | A min %  |  | Z min %  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | d ≤ 11  |   | 735                      |                      | 1030 – 1375  |                             | 8  |  | -  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | 11 < d ≤ 25   |   | 540                      |                      | 785 – 1080   |                             | 9  |  | -  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | 25 < d ≤ 40   |   | 490                      |                      | 685 – 930  |                             | 10   |  | -  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Hodnoty tvrdosti HB pro stav :   | Zpracováno na stříhatelnost (S)   |   | Žhánáno na měkko (A)     |                      | Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)                            |                             | Zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu (FP) |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | max. 255  |   | max. 207                 |                      | 156 – 207  |                             | 140 – 187  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | Stav po válcování   |   | Stav po normalizaci      |                      | Žhánáno na globulární cementit (vhodné pro tvárění za studena) |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | ca 250 <sup>5)</sup>  |   | ca 220 <sup>5)</sup>     |                      | max. 178 <sup>5)</sup>   |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Prokalitelnost   | <table><tr><th rowspan="2">Druh</th><th rowspan="2">Meze</th><th colspan="13">Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm</th></tr><tr><th colspan="13">Tvrdost v HRC</th></tr><tr><td rowspan="2">H</td><td>max.</td><td>47</td><td>46</td><td>44</td><td>41</td><td>39</td><td>37</td><td>35</td><td>33</td><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td></tr><tr><td>min.</td><td>39</td><td>36</td><td>31</td><td>28</td><td>24</td><td>21</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td rowspan="2">HH</td><td>max.</td><td>47</td><td>46</td><td>44</td><td>41</td><td>39</td><td>37</td><td>35</td><td>33</td><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td></tr><tr><td>min.</td><td>42</td><td>39</td><td>35</td><td>32</td><td>29</td><td>26</td><td>24</td><td>22</td><td>20</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td rowspan="2">HL</td><td>max.</td><td>44</td><td>43</td><td>40</td><td>37</td><td>34</td><td>32</td><td>30</td><td>28</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td></tr><tr><td>min.</td><td>39</td><td>36</td><td>31</td><td>28</td><td>24</td><td>21</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></table> |   |                          |                      |  |                             |  |  |  | Druh            | Meze | Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Tvrdost v HRC |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | H | max. | 47 | 46 | 44 | 41 | 39 | 37 | 35 | 33 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | min. | 39 | 36 | 31 | 28 | 24 | 21 | - | - | - | - | - | - | - | HH | max. | 47 | 46 | 44 | 41 | 39 | 37 | 35 | 33 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | min. | 42 | 39 | 35 | 32 | 29 | 26 | 24 | 22 | 20 | - | - | - | - | HL | max. | 44 | 43 | 40 | 37 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | min. | 39 | 36 | 31 | 28 | 24 | 21 | - | - | - | - | - | - | - |
| Druh   | Meze  | Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  |   | Tvrdost v HRC                           |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| H  | max.  | 47                                      | 46                       | 44                   | 41   | 39                          | 37   | 35                                     | 33   | 31              | 30   | 29                                      | 28 | 27 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | min.  | 39                                      | 36                       | 31                   | 28   | 24                          | 21   | -                                      | -  | -               | -    | -                                       | -  | -  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| HH   | max.  | 47                                      | 46                       | 44                   | 41   | 39                          | 37   | 35                                     | 33   | 31              | 30   | 29                                      | 28 | 27 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | min.  | 42                                      | 39                       | 35                   | 32   | 29                          | 26   | 24                                     | 22   | 20              | -    | -                                       | -  | -  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| HL   | max.  | 44                                      | 43                       | 40                   | 37   | 34                          | 32   | 30                                     | 28   | 26              | 25   | 24                                      | 23 | 22 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | min.  | 39                                      | 36                       | 31                   | 28   | 24                          | 21   | -                                      | -  | -               | -    | -                                       | -  | -  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| <div><div><p>Pásky prokalitelnosti</p></div><div><p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek pr. 10 mm)</p></div></div>  |   |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Technologické vlastnosti   |   |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Tvárění za tepla   | Doporučené rozmezí teplot pro tvárění za tepla : 1100 až 900 °C   |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Tepelné zpracování   | Normalizační žhánání °C   | Žhánání na měkko °C                     | Isotermické žhánání      | Teplota cementace °C | Teplota kalení na jádro °C                                     | Teplota kalení na povrch °C | Teplota popouštění °C                              | Teplota kalení pro Jominyho zkoušku °C |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|  | 880   | 650 až 700                              | 850 až 950<br>650 1 hod. | 880 až 980           | 860 – 900<br>olej, (voda)                                      | 780 až 820<br>olej, (voda)  | 150 až 200   | 870 ( prodleva<br>ca 0,5 h)            |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Uvedené podmínky jsou doporučené.<br><sup>a)</sup> při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku)<br><sup>b)</sup> druh ochlazovacího prostředku závisí na př. na tvaru výrobku a na podmínkách ochlazování.<br><sup>c)</sup> doba popouštění minimálně 1 hod. |   |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Obrobitelnost  | Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 16MnCrS5 se zvýšeným obsahem S.  |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| Stříhatelnost  | Ocel 16MnCr5 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování.   |   |                          |                      |  |                             |  |  |  |                 |      |   |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |

<sup>1)</sup> Obsah síry u oceli 16MnCrS5 je 0,020 až 0,040% s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

<sup>2)</sup> Prokazují se na referenčním vzorku uvedených průměrů. Slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře po kalení a popuštění. Údaje jsou převzaty z literatury.

Re – mez kluzu, Rm – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční měřená délka Lo = 5,65√So), Z – kontrakce, KCU – nárazová práce, zkušební těleso s U – vrubem (průměr ze tří zjištěných hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% střední hodnoty).

<sup>3)</sup> pro ocel objednanou bez požadavku na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

<sup>4)</sup> ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně.

<sup>5)</sup> Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084.